FUTURE TRANSPORTATION FUELS

CONVENTIONAL FUELS

Canada

FUTURE TRANSPORTATION FUELS

CONVENTIONAL FUELS

TABLE OF CONTENTS

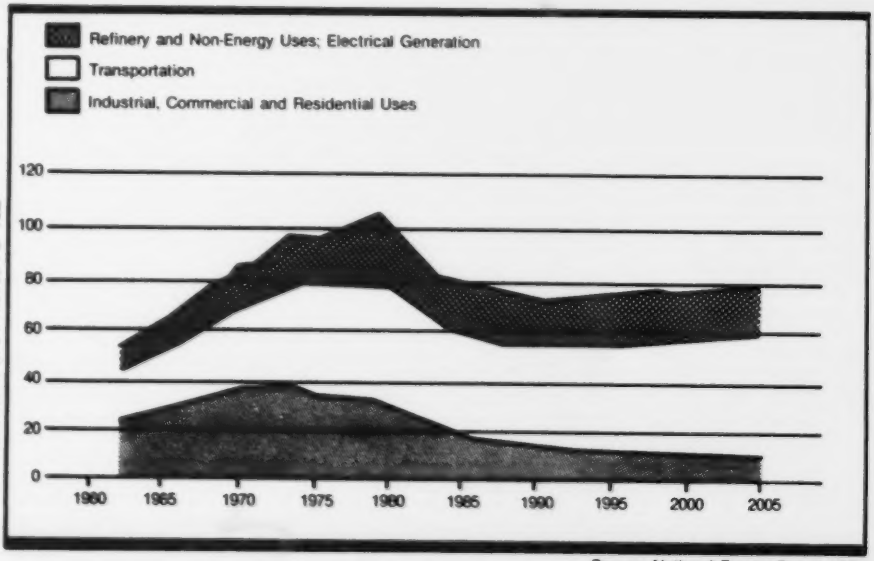
CONVENTIONAL FUELS	3
Introduction	3
The History of Conventional Fuels in Canada	5
How Petroleum Fuels Are Produced	8
Engine Technology and Fuel Quality	19
The Future of the Conventionally Fuelled Transportation System	28
Glossary	34

© Minister of Supply and Services Canada 1986

Cat. No. M27-74/1986E

ISBN 0-662-14730-8

Demand for oil in Canada. Transportation accounts for the lion's share of Canadian oil demand.



Source: National Energy Board (1984)

CONVENTIONAL FUELS

INTRODUCTION

The movement of goods and people is at the heart of Canada's economy. Our products are shipped vast distances — across the country and around the world. An efficient and economical transportation system makes such commerce possible. Canadians themselves are also on the move. On the ground, on water or in the air, personal and mass transportation is a vital part of our way of life.

A transportation system depends on the availability of fuel. Today, Canada's transportation fuels are predominantly oil-based — fully half of all the oil used in Canada powers our transportation system.

To expand Canada's transportation fuel alternatives, research and development projects are exploring many other fuel sources. The most significant of these are the subject of other booklets in the *Future Transportation Fuels* series. Demonstration programs sponsored by government are promoting the use of particular fuels such as propane and natural gas for vehicles. Private companies are also heavily involved in bringing new fuels to the marketplace, for example, the introduction of gasoline blended with alcohols derived from natural gas or agricultural produce. Although oil-based transportation fuels will continue to be our major fuels for the foreseeable future, alternative fuels are becoming more and more important and widespread.

This booklet tells the story of conventional oil-based transportation fuels: gasoline, diesel and aviation fuel. It explains how these fuels are produced, refined and used in Canada. It is a story that most of us do not think about when we drive into a service station to fill up. Between the oil well and the gasoline pump lies a complex refining and distribution system that must meet our fuel needs while relying upon a supply of crude oil that varies in both quantity and quality.

The Canadian oil industry is a large, integrated system that turns crude oil into a multitude of products from plastics to road asphalt, in addition to liquid fuel. The volume of transportation fuel used in Canada clearly shows the mammoth scale at which the oil industry must operate. Currently, nearly 50 billion litres of crude oil per year must be refined into transportation fuel to meet Canadian demand. This is equivalent to 2000 litres for every man, woman and child in this country.

The history of the Canadian oil industry closely parallels the development of our modern industrial strength. The energy of oil has, in large part, powered our nation during this century. Some oil for use in medicine, lighting and lubrication was produced before the internal combustion engine became popular, but the industry did not really come of age until car, truck, air, and later, diesel-rail transport developed. Today, as Canada's traditional reserves of easily developed and refined conventional oil are being slowly depleted, our transportation system and the oil industry are changing and evolving.

The way in which we use oil products, particularly for transportation, is also changing significantly. Today's vehicles, whether cars, trucks or jet aircraft, are designed with fuel

efficiency as a major consideration. More efficient use of transportation fuels has had a significant impact on consumption. Continuing improvements in the way we produce and use petroleum fuels will mean increased energy security for our nation.

In this booklet you will find descriptions of the oil refining process and the mechanics of conventional engines. An understanding of these subjects is necessary to fully appreciate the importance of conventional transportation fuels. Information is presented in relatively nontechnical terms, and fundamentals are emphasized, rather than details.

To appreciate the importance of today's petroleum fuels, let's look at how well they serve our needs. Consider the automobile. Personal transportation requires a vehicle that is safe, efficient, dependable and able to be operated properly in extremes of temperature. The fuel required to power such a vehicle must have the same virtues, as well as being plentiful, affordable, easy to handle and capable of providing adequate travelling range. Gasoline and diesel fuel meet these requirements. These fuels are such a normal part of our lives that we take them for granted, and yet it is worthwhile to think about how well they actually serve us.

Gasoline and diesel fuel will remain the standard against which future fuels are judged. Although the conventional fuels discussed in this booklet helped to build Canada as a nation, we are entering an era in which alternative transportation fuels, such as propane, natural gas for vehicles, alcohols and electricity, will become increasingly important sources of transportation energy. The shift from conventional to alternative fuels will take time, continued research efforts and considerable investment by both government and industry. Our current conventional transportation energy system is the starting point in this transition.

THE HISTORY OF CONVENTIONAL FUELS IN CANADA

The use of oil to produce transportation fuels is a relatively new development but the raw resource has been known for thousands of years. Oil seepages, free oil escaping from the ground, were not uncommon in the Middle East and surrounding areas, as well as in North and South America. We know of ancient peoples making use of this oil in various ways: as a medicine, for sealing boats and buildings and even as a weapon of war. The Bible tells us that both Noah's Ark and Moses' cradle were waterproofed with asphaltic pitch, a thick natural form of oil. The Romans used oil from seepages in Sicily for temple lamps and as a medicine for treating ailments as diverse as leprosy and gout. Long before Europeans settled in Canada, some of the native peoples collected a thick oil from natural seepages and used it as a base for war paint, as a medicine, as an adhesive and even as an insect repellent.

It was in eastern Canada, in the mid-nineteenth century, that our oil was first brought into commercial production. By this time scientists had learned that naturally occurring hydrocarbon materials such as coal and oil could be used to produce liquid fuels similar to the animal and vegetable oils that were used primarily for lighting. By the 1860s, as processes for manufacturing petroleum liquids, such as kerosene, became more efficient, these fuels began to replace traditional oils such as those derived from whale blubber.

Such technical developments paved the way for Canada's oil industry, which began a few years later in southwestern Ontario. In 1858 the first oil well in North America was drilled at Oil Springs, near London, Ontario. More wells soon followed, and during the next few years various southern Ontario communities experienced small oil booms. Some of these early wells have continued to produce oil, but many new wells have been drilled in more recent years. It is interesting to note that with today's modern oil recovery methods, many of these early wells are being brought back into production. The techniques used during the early years often recovered as little as 10 per cent of the oil in a reservoir.

Southwestern Ontario is now only a minor oil-producing area, but in the 1870s and 1880s it was the centre of the North American oil industry. The Imperial Oil Company Ltd. (now Imperial Oil Limited, owned by Exxon, the largest multinational company in the world) was founded in 1880 by a group of London, Ontario businessmen. As the focus of the oil industry moved south to newly developed American oil fields, Imperial Oil moved as well, although oil production continued north of the border.

In 1841, the Geological Survey of Canada, now a division of Energy, Mines and Resources Canada, was founded, and geologists began to investigate the rock structures which hold crude oil. Sir William Logan, the first director of the Geological Survey, developed the theory that oil lies in porous, sedimentary rock that was overlaid with dense, oil-impermeable rock strata. Folds in these strata formed reservoirs within which oil is held. The oil itself is thought to have been formed by the decomposition of marine plants and animals that lived on the earth many

Early oil wells were bored using heavy chisels dropped by spring poles.

millions of years ago. This theory remains the basis for most modern oil exploration efforts.

In the early years of the industry, getting the oil out of the ground involved very primitive technology. Drilling was done by dropping a weighted metal bit down the well hole to slowly chip the rock away. Wooden poles were used to raise and drop the bit. The equipment was originally powered by humans but mechanical rigs were developed later. The maximum depth attained by this method seems to have been only about 300 metres, and even this depth would require one or two years of hard labour. In the late 1920s the modern rotary drilling rig was introduced. This employs a heavy pipe to rotate the bit while it is cutting. A continuous stream of water through the drillpipe washes the cuttings out in order to keep the borehole open.

In the early oil fields it was found that, as the flow diminished, a pump had to be used to maintain production from a well. At first, a boiler and engine were used for each pump but later a system of shafts was used to connect a number of wells with one engine and greater productivity was gained.

Refining methods also underwent considerable change during the second half of the nineteenth century. The first distillation systems were a modification of the stills used for producing alcoholic beverages. Subsequently, equipment was designed specifically for petroleum refining. Cylindrical iron stills containing crude petroleum were heated and the vapours from the evaporating oil collected and condensed into products ranging from gasoline and naphtha to heavier tarlike residues. Since lamp oil was the most desired product, the distillation techniques used were those that produced as much kerosene as possible. Gasoline was initially considered useless and even dangerous because of its high flammability.

The end of the last century saw a major change in the oil industry. After nearly a century of experimentation with the internal combustion engine, the first automobiles were introduced, and with them a slow but ever-

growing demand for the previously unwanted gasoline. Although many early automobiles were powered by different fuels, including alcohol, electricity and steam, gasoline became the dominant fuel during the first decade of the century.

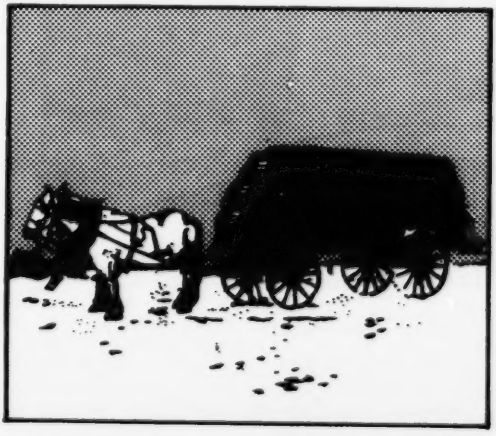
In 1898 the first Canadian automobile was produced, and by 1910 several thousand were on the road. The first gasoline service station in Canada opened in Vancouver in 1907. As engines became more powerful, gasoline and lubricating oils had to be improved, providing the impetus for the modern petroleum industry.

The use of the internal combustion engine during World War I by the military authorities to power tanks, trucks and eventually airplanes greatly accelerated the use of oil-powered vehicles. After the war, mass production of automobiles in the United States lowered the price and brought the automobile within the reach of the general population. In addition, buses and trucks began to take over from the railways the mass transportation of people and goods.

While these developments were taking place, the focus of Canada's oil exploration moved west, where oil had been found in 1888 in southwestern Alberta. The discovery of the Turner Valley oil field in 1914 made Alberta Canada's major oil-producing area. This was the first oil field of major commercial significance in Canada, and its discovery led to an oil rush. Then in 1921 oil was discovered at Norman Wells in the Northwest Territories. However, activity remained sporadic until 1939, when large-scale exploration began, spurred mainly by World War II, which created a demand for a wide range of fuels and other petroleum products such as synthetic rubber. Canada continued to import most of its crude oil until the discovery of Alberta's Leduc oil field in 1947 by the Imperial Oil Company Ltd., a dramatic event which transformed the Canadian oil industry into a major world producer almost overnight.

Over the last four decades, the western provinces have supplied virtually all the oil produced in Canada. Since the oil crisis of the 1970s, the importance of this resource both to the producing provinces and to Canada as a nation has grown enormously. Current exploration and development in the Arctic and eastern offshore holds the promise of increasing Canada's conventional oil reserves and our energy security. Development of Canadian oil refining expertise has kept pace with crude oil discoveries, and today a national system of pipelines and oil refineries efficiently converts crude oil into the petroleum products we use each day.

Horse-drawn carts loaded with oil in wooden barrels were a common sight in the early days of Canada's petroleum industry.



HOW PETROLEUM FUELS ARE PRODUCED

The Canadian oil industry is made up of many companies performing many different functions. The large integrated oil companies are those which are involved in all aspects of the industry, while smaller firms carry out one or more oil-related functions.

These include:

- exploration, development and production of crude oil. This is concentrated in western Canada, the Arctic and eastern offshore regions;
- crude oil transportation to refineries through a network of pipelines which stretch across Canada;
- oil refining, which processes crude oil into the various petroleum products we use; and
- distribution and retailing, which takes refined products to market and sells them to consumers.

Most Canadians are aware of oil exploration and development activities through media reports and, as consumers, are familiar with

An anticlinal oil trap. An upward arching of the layers of rock beneath the earth's surface is called an anticline. Oil and gas can collect in the porous rock under the dome of impervious rock. Oil 'floats' above the denser water, while lighter natural gas collects above the oil.

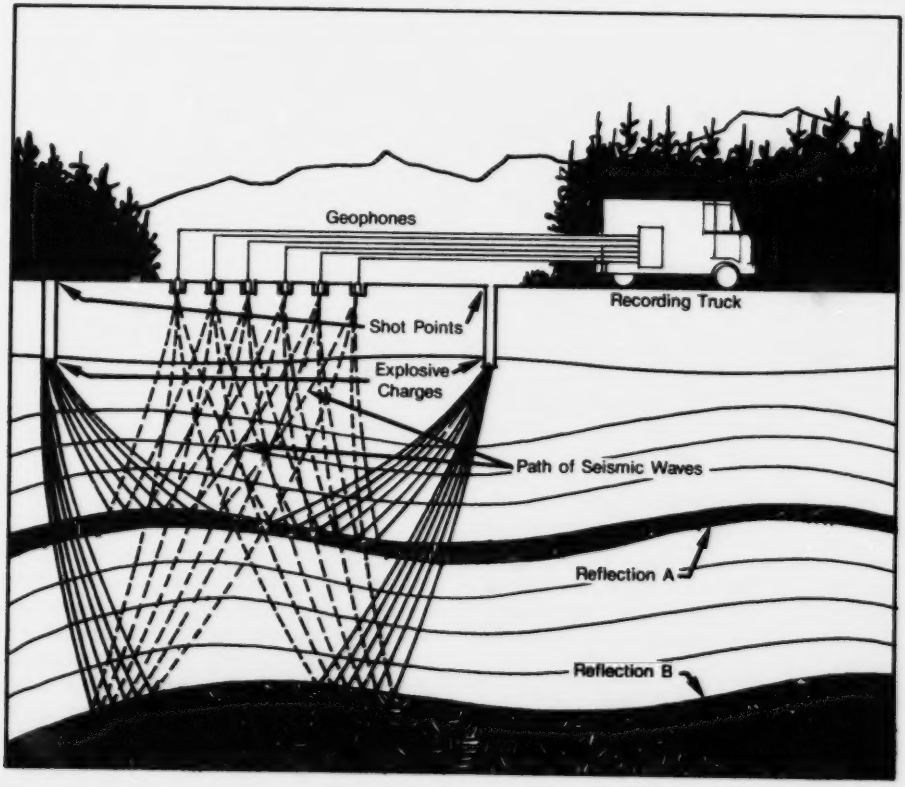
the distribution and retailing of petroleum products. However, the refining of crude oil remains somewhat of a mystery to most Canadians, despite the fact that we depend on the products of this process daily. The techniques used to produce and refine crude oil are undergoing significant changes. This is in large part due to the decline in stocks of high-grade, light crude oil and the increasing use of lower grade heavy crude, as well as the interest in moving to synthetic oils produced from oil sands and other nonconventional resources.

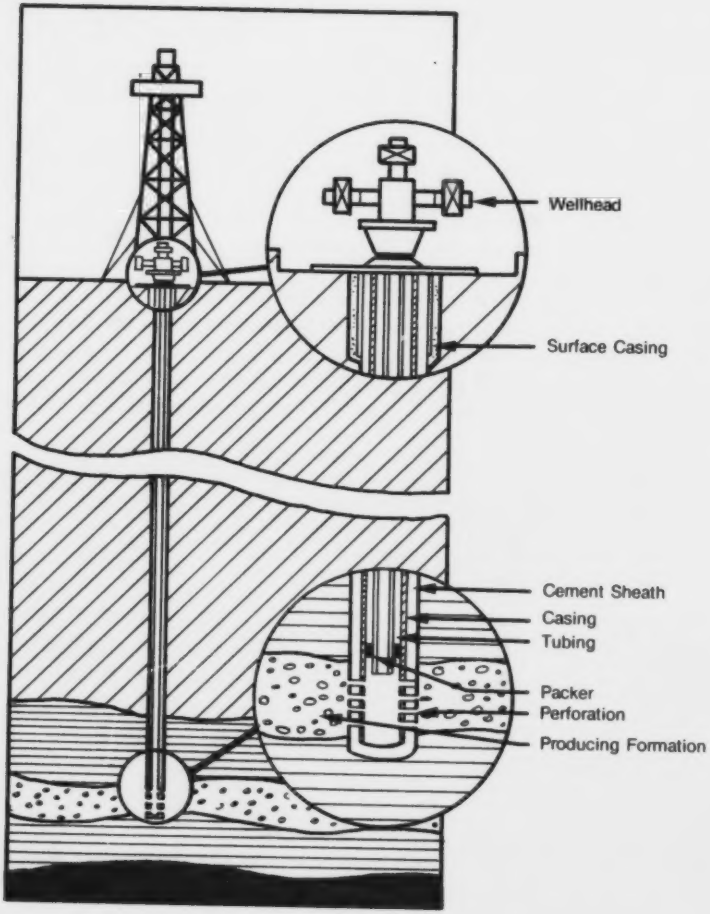
This chapter outlines the present techniques used to produce and refine crude oil.

Production and Transportation of Crude Oil

Crude oil is found in rock formations possessing specific characteristics. The rock in which the oil is held is porous and this reservoir is isolated from the surface by a layer of impervious rock, creating a trap. The previous diagram illustrates one type of trap called an anticline; folds in the earth's crust create such rock formations. Oil exploration efforts

Seismic reflection surveying is a useful exploration technique in regions where the sediments consist of alternating layers of different thickness and character. The most common technique involves setting off explosive charges in small holes. The explosions create shock waves which are reflected by the subsurface formation, picked up by the geophones and recorded in the recording truck. The time required for the waves to travel down and back from the various formations and the intensity of these waves are correlated to produce 'pictures' of the underground formations.





A 'completed' oil well. Tubular steel production casing is cemented in place to line the well bore and allow efficient control of production. Steel production tubing, smaller in diameter than the casing, is suspended from the wellhead. Perforations are punched in the walls of casing and cement so the oil can flow easily into the well bore. Chokes and valves in the wellhead equipment control production from the well.

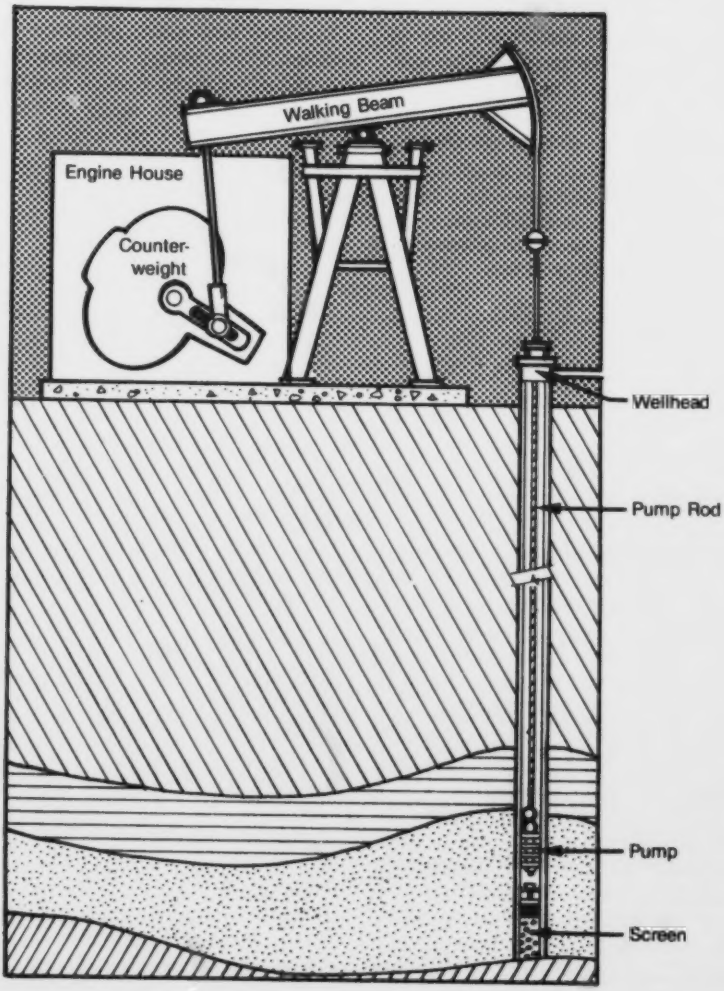
are aimed at finding such potentially oil-bearing rock formations. The oil industry uses sophisticated tools and a comprehensive knowledge of oil geology in its exploration efforts.

When a potential oil reservoir is found, exploratory drilling into the formation determines whether oil or gas is present. Depending on the planned depth of the well, drillers will use different-sized rigs. Since drilling is costly, an effort is made to use the most economical equipment. Modern drilling rigs are complex machines that can drive through bedrock quickly and accurately. Each year Canadian oil companies drill thousands of wells, which can be many hundreds or even thousands of metres deep.

The oil reservoir must be brought into production. Because of internal pressures within the earth oil will often flow naturally up the well pipe, being pushed to the surface by the expanding natural gas contained in the oil and in the reservoir. However, as oil is removed from the porous reservoir, internal pressure drops and mechanical pumping is required. The 'grasshopper' pump, pictured below, is a common sight in oil-producing regions

Even with mechanical pumping, only about one third of the oil within a reservoir can be recovered. The remainder stays trapped within the porous structure of the rock. To increase the yield, enhanced oil recovery techniques are now being developed.

A grasshopper pump. The 'walking beam' is connected to the engine at one end and to the pump rod at the other. When the walking beam is rocked up and down by the engine, the pump plunger is moved up and down. A huge counterweight balances the weight of the long pump rod.



The simplest of these involves injecting water into the rock to compensate for the pressure loss resulting from oil recovery. Gas, chemical solvents, detergents and steam can also be injected to improve the flow of oil through the reservoir. A more complex system involves actually burning some of the oil within the rock strata to heat and thin the remaining oil, if it is very viscous. The diagram below illustrates how one type of enhanced oil recovery works.

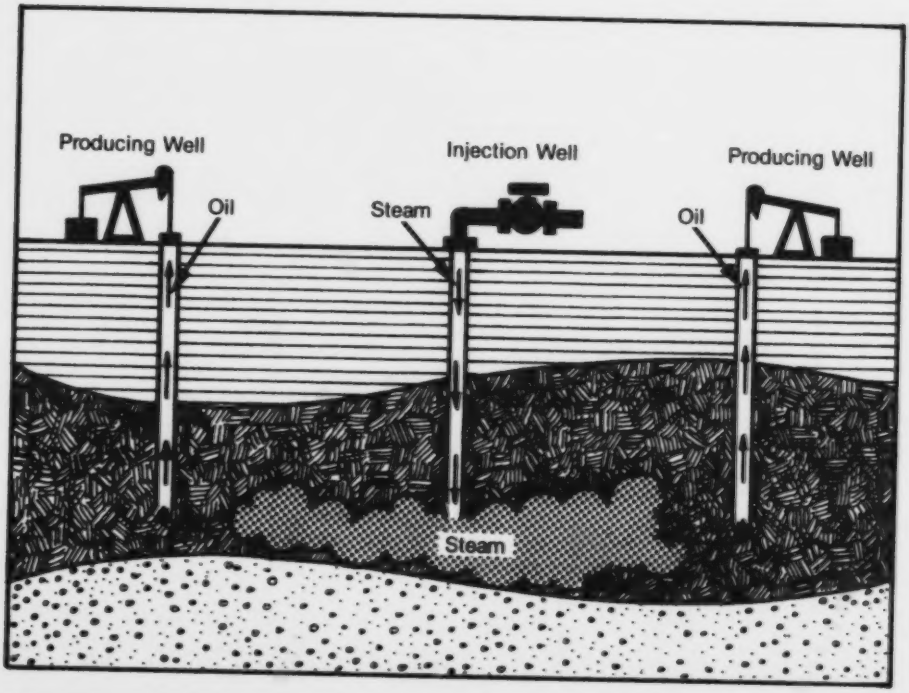
Once it has been pumped to the surface, oil must be transported. Storage tanks at the well site can hold the oil as it accumulates, and trucks or pipelines are used to move it to the refinery. Most of Canada's oil is moved from western Canada by large pipeline systems. These networks of buried pipe, often more than a metre in diameter, stretch across Canada from British Columbia to Quebec. More than 160 000 kilometres of pipeline connect the producing regions of western Canada with refinery centres. As oil production in the eastern offshore regions begins, additional oil pipelines servicing this area may also be necessary.

The Refining Process

The least visible part of conventional fuel production takes place within the oil refinery. Refineries are complex industrial plants using many interrelated processes. It is within the refinery that crude oil becomes the various petroleum products we use every day.

To appreciate what petroleum refining involves, it is necessary to explore the nature of crude oil. It is not a single substance, but rather a mixture of many different compounds. The actual make-up of crude oil

Steam injection recovery. Steam injected into an oil reservoir heats the remaining oil, causing it to flow more easily. Adding steam also keeps up the pressure in the reservoir, helping to push the oil up the well pipe.



Pipelines transport oil from Alberta west to the Pacific and east as far as Montreal.

is different between deposits. The several grades of crude oil vary considerably in their composition.

The conventional crude oil that is the focus of this book includes both heavy and light grades, but not the synthetic crude that is produced from oil sands and other nonconventional resources.

What is Crude Oil?

Crude oil is not a usable fuel in its natural state. Rather it is a mixture of various substances composed of hydrogen and carbon, hence the term hydrocarbons. In addition, crude oil can contain small quantities of contaminants, including sulphur, various metals, salt, water and suspended grit. These impurities are removed during refining. The different hydrocarbons that make up crude oil vary in molecular size and structure. Light hydrocarbons are composed of smaller and simpler molecules while heavy hydrocarbons have a larger and more complex molecular structure. In each case the carbon and hydrogen atoms are attached to one another in a specific pattern. The relationship between the number of carbon and hydrogen atoms in a hydrocarbon molecule and the arrangement of these atoms is important to the refiner. The refining process involves segregating various groups of hydrocarbons and, in many cases, altering their molecular structure and blending them to produce specific products.

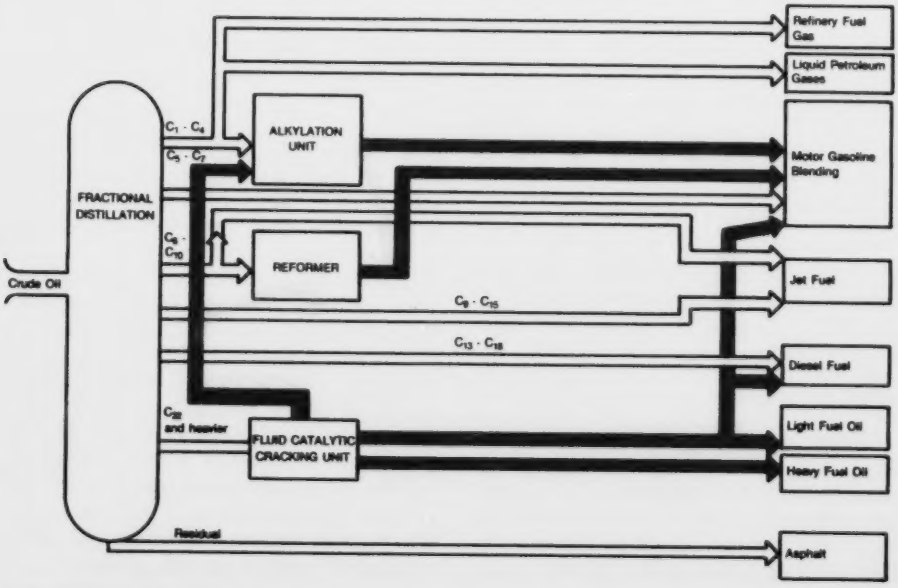
The composition of a hydrocarbon compound can be expressed in a way that identifies the ratio of carbon and hydrogen atoms it contains. For instance, the chemical formula for methane, the major constituent of natural gas, is CH_4, indicating that one carbon atom plus four hydrogen atoms make up each methane molecule. A simpler method of identifying hydrocarbon groups involves segregating them according to the number of carbon atoms one molecule contains. Hydrocarbons in the C_1 to C_4 range are gases such as methane, propane and butane, and those in the C_{22} and heavier range are heavy oils.

Refining techniques first isolate specific compounds or groups of compounds. Then other processes are used to alter those compounds that are less useful in order to produce greater quantities of desirable refined products. Heavier, complex compounds can be broken down into smaller, lighter ones. Conversely, very light compounds can be combined to produce heavier ones.

The hydrocarbon compounds that make up crude oil have specific characteristics upon which the refining process is based. The most important of these is the boiling point — the temperature at which each material turns from a liquid into a gas (or vice versa). The heavier a compound is, the higher its boiling point. The accompanying chart illustrates this relationship.

Hydrocarbon	Chemical Structure	Boiling Point
Propane	3 carbon + 8 hydrogen C_3H_8	−42°C
Pentane	5 carbon + 12 hydrogen C_5H_{12}	+29.2°C
Cetane	16 carbon + 34 hydrogen $C_{16}H_{34}$	+288°C

A modern refinery employs a number of chemical processes to produce the optimum mix of gases, transportation fuels, heating oils and asphalt.



The previous diagram is a very simplified illustration of how various refining processes are used together. There are many processes that are not shown in this diagram, and each refinery is unique in the types of processes it uses and how it combines and operates them. The various cleaning processes — those that remove impurities such as sulphur from the fractions — have also been deleted.

Basic Refining Processes

The refining of crude oil involves a number of different processes which together can convert virtually all the crude oil components into saleable petroleum products. The following section describes the most important of these processes.

Fractional Distillation

The basic method used to segregate hydrocarbon compounds is distillation, which makes use of the variation in their boiling points to separate groups of compounds into refining fractions.

Simple distillation can be seen by boiling a mixture of vegetable oil and water on a kitchen stove. The water will turn from a liquid to a gas (steam) and will boil off first, leaving the vegetable oil in the pot. The water and vegetable oil are both fractions, or components, of the original mixture.

The second part of the distillation process involves recovering the fractions that are turned to a gas. Exactly the opposite approach is used. If the gas that has left the liquid is cooled to below its boiling point, it will condense, or turn back into a liquid.

Fractional distillation uses these two related processes to separate crude oil into selected groups of compounds. This operation is carried out in a distillation column, a tall tower into which heated crude oil is injected. The distillation column is capable of isolating many different fractions in a single operation and operates on a continuous basis. Crude oil is fed in one end and a constant stream of products leaves the other end.

The temperature in the column is lowest at the top. The heated crude oil enters the column as a mixture of liquids and gases. The liquid component, made up of the heaviest compounds, flows to the bottom. The gases are forced up the column through a series of perforated metal trays covered in a layer of condensed liquid. As each hydrocarbon in the gas mixture cools to its boiling point, it turns back into a liquid. Lighter compounds remain as gases and continue to move up the column until they too reach their boiling points. The lightest compounds do not liquefy and are drawn off at the top of the column.

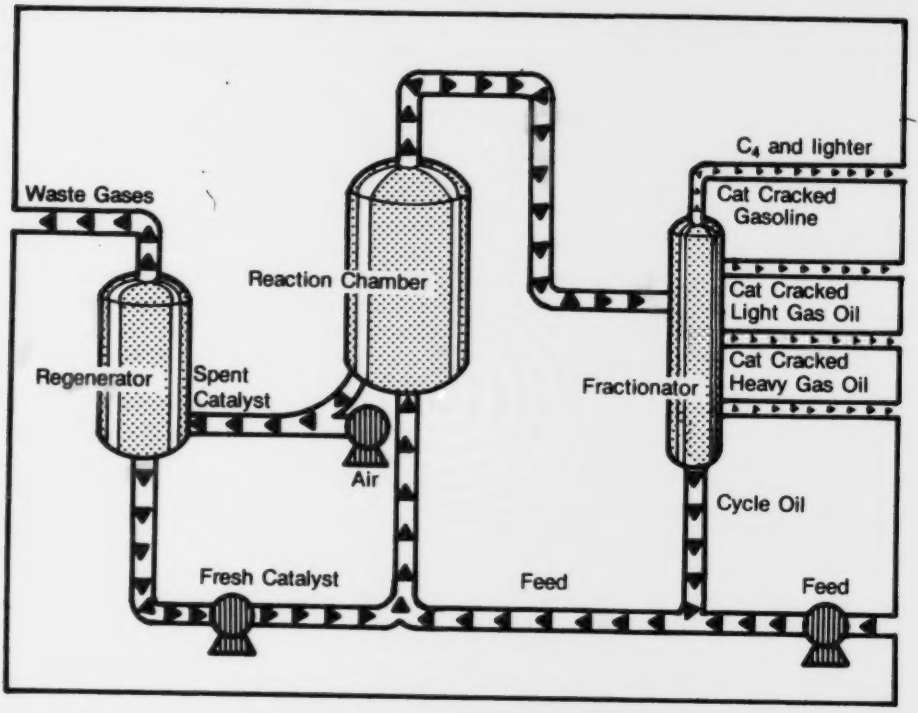
Liquids are drawn out of the columns at specific temperature levels. These are known as cut points — the points at which the various hydrocarbons are separated into streams. As the illustration shows, this is the stage at which recognizable petroleum products begin to emerge from the refining process.

After distillation there are a number of other processes used in the refinery to produce more useful products from the crude oil. These are necessary for a number of reasons. In the first place, some of the material produced by distillation is not particularly useful. The heavier fractions, made up of compounds with very high boiling points, are tarlike in consistency and cannot be used as fuel. As well, the proportions of the different fractions that can be distilled do not match the demand for specific products. Gasoline is an important petroleum fuel but distillation may only yield 10 to 15 per cent gasoline by volume.

The three main processes used to further refine distilled fractions are catalytic cracking, catalytic reformation and alkylation. We will start by looking at catalytic cracking.

Cracking

Cracking, as the term implies, involves breaking apart hydrocarbon molecules. The chief purpose of the process is to convert the heavy cuts, as much as possible, to the



A cat cracker. Heavy hydrocarbon fractions (the 'feed') are pumped through a heater, mixed with catalyst and passed through the reaction chamber. Then the catalyst and hydrocarbon are separated and drawn off. The hydrocarbon is passed through a fractionator to break it into gases, gasoline, light and heavy gas oil and residual or cycle oil. The cycle oil is mixed with fresh cat feed and run through the reaction again.

The catalyst, which becomes inactive (spent) as it is slowly covered by coke from the cracked hydrocarbon, is mixed with hot air in the regenerator. The coke oxidizes to carbon monoxide and carbon dioxide, which are passed through a heat exchanger and then vented to the atmosphere. The freshly regenerated catalyst is pumped back to be mixed with cat feed on its way to the reaction chamber.

light and middle-weight fractions needed for the production of transportation fuels. Cracking occurs when the heavy fractions obtained from distillation are heated to a high temperature — 500°C or more.

Cracking can be promoted by the use of catalysts, materials that allow cracking to be achieved at lower temperatures. Certain metals, such as silica and alumina, act upon hydrocarbons in this manner. The catalyst does not end up as part of the product and thus can be regenerated if necessary and then used again. In addition to allowing cracking at lower temperatures, catalysts provide the refiner with additional benefits, promoting specific changes in the feedstock which result in increased production of gasoline. A further development in cracking technology involves the addition of hydrogen during the reaction. The extra hydrogen combines with the carbon-rich

feedstock to further increase the output of the lighter transportation fuels. This process, called hydrocracking, is becoming more important as heavier, more carbon-rich grades of crude oil become common.

In all cracking processes the cracked feedstock is run through a fractionation column which, like a distillation unit, separates the various fractions produced according to their condensation temperatures.

Cracking processes are an important part of refining because they allow the refiner to produce greater quantities of the fuels in greatest demand — gasoline and diesel fuel.

Catalytic Reforming

Catalytic reforming is another important refining process related to gasoline production. Unlike cracking, it receives and produces fractions of roughly the same weight. Cat reforming is used to improve the quality of gasoline fractions as opposed to producing heavier or lighter fractions. The purpose of this process relates to the need for adequate octane in modern gasoline fuel. The importance of octane is described in the 'Engine Technology and Fuel Quality' section of this booklet.

The feed for cat reforming is primarily composed of naphtha, a fraction similar to gasoline but lacking many of the characteristics of this fuel. The reforming process uses a catalyst to alter the molecular structure of the feed, producing a higher octane product called reformate. This fraction is used in gasoline blending.

Alkylation

Both distillation and cracking produce a considerable volume of 'light-ends', mostly gaseous hydrocarbons that are too light to be of use in the production of transportation fuels. Alkylation allows these fractions to be combined, forming heavier hydrocarbons useful in the blending of gasoline.

The most important product of alkylation is 'alkylate'. Alkylate is a highly valued material for gasoline blending because of its high octane number, a characteristic desirable in gasoline.

Alkylation uses a catalyst to promote reactions between hydrocarbons. In this case the catalyst is an acid, usually sulphuric acid or hydrofluoric acid. Gases produced by the cracking process are mixed with acid and held in a reaction vessel to allow proper mixing and chemical changes to take place. During this process many of the lighter hydrocarbons join together to form more complex and heavier compounds. After the reaction, the acid and hydrocarbon mixtures are separated and residual acid in the hydrocarbon is neutralized. The hydrocarbon is then run through fractionators to separate specific fractions.

Part of the gaseous fraction, including propane and butane, passes through this system unreacted. These gases are then collected and can be either used within the refinery or sold as gaseous fuels.

Balancing Refinery Output

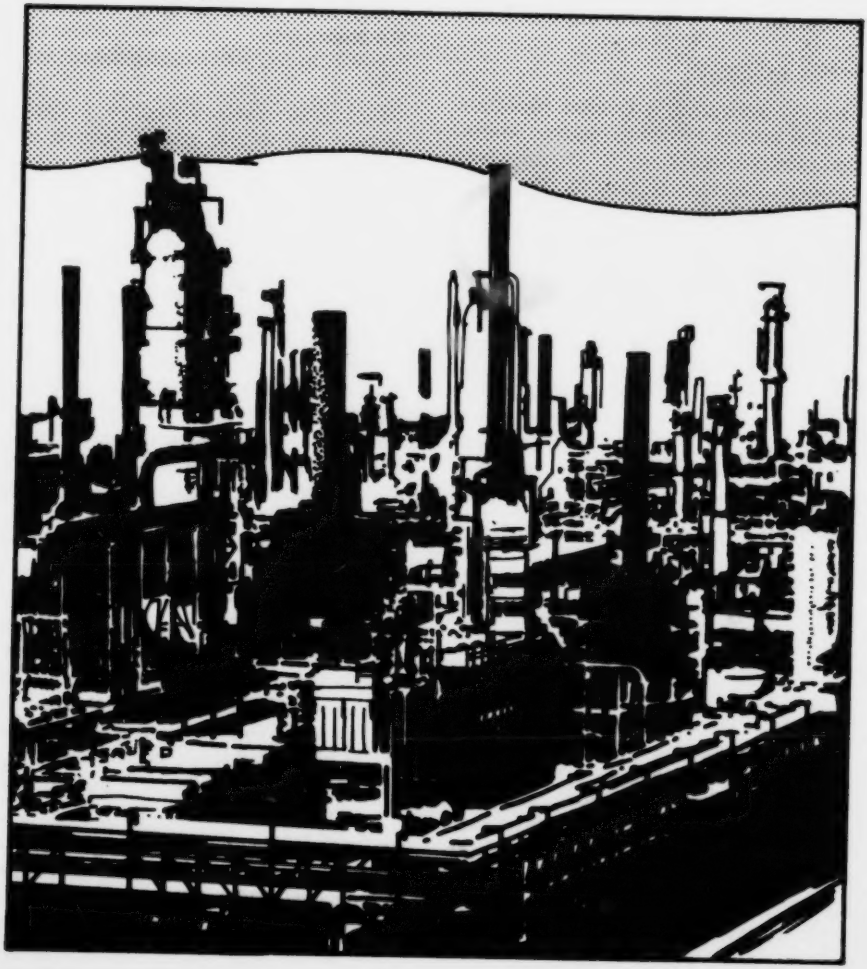
The processes described so far are not the only ones at work in a modern refinery. Other processes convert, consume and concentrate the many fractions produced from crude oil. Together all these fractions must be turned into the products consumers require, in the quantity, and of the quality, they need without any residues. A major refinery processes thousands of cubic metres of crude oil each day; the need to balance output is therefore of critical importance. The major variables the refinery must take into account are:

- variation in crude oil quality; different grades of crude contain varying amounts of the naturally-occurring fractions segregated in the initial crude distillation. This will affect the volumes of material flowing to each subsequent process and the ability of the refiner to meet product demands;
- variation in product requirements; there are seasonal differences in product demand and product quality that the refiner must take into account. Gasoline is generally in greater demand during

the summer months when road travel increases as many Canadians take vacations, while heating oil is required during the colder winter months. As well, developments in vehicle fuel requirements, such as the switch from leaded gasoline to unleaded gasoline, are also changing product specifications. Some of these specifications result from government regulations; others are voluntarily established by the industry to ensure a consistently high quality of gasoline.

Product quality is the central issue for the refiner. For example, gasoline must meet rigid quality criteria in order to protect vehicle engines, provide proper engine performance and meet environmental regulations. Gasoline and diesel fuel are blended from many different refined fractions, each capable of affecting vehicle performance and fuel safety. The task of balancing all the factors involved in refining is immensely complex. Modern refineries rely on highly trained specialists and extensive computer control systems to balance processes.

Modern petroleum refineries are complex and sophisticated industrial plants.



ENGINE TECHNOLOGY AND FUEL QUALITY

Transportation fuel blending consumes more than half of all the refinery output in Canada, and producing these fuels is something of a chemical juggling challenge for the refiner. To understand how and why fuels are blended as they are requires an understanding of the types of engine that use these fuels. Engine technology and fuel blending are closely related. As engines change, so must the fuels that the refiner produces.

The following section is divided into three parts describing the three major engine types and the blending processes which provide the fuels that they require. All are internal combustion engines — the combustion of fuel occurs within the engine rather than outside of it, as in a steam boiler.

Gasoline Engines

Gasoline or spark ignition engines rely on a spark plug within each engine cylinder to ignite the fuel. This is an important feature, as it has a lot to do with the way gasoline is blended. The basic mechanism of a gasoline engine is worth reviewing before discussing fuel blending.

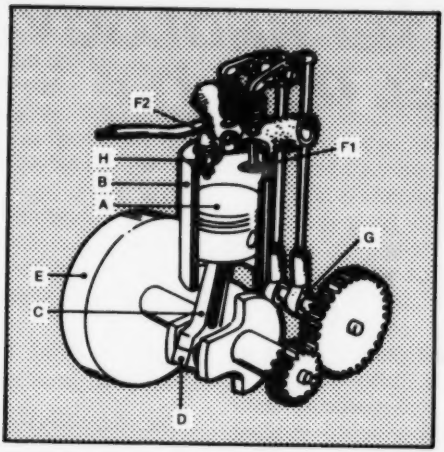
Gasoline engines contain a number of cylinders within which the fuel is combusted. As the accompanying illustration shows, each cylinder contains a number of parts. At the top of the cylinder are valves and the spark plug. One valve is connected to the carburetor, which mixes gasoline with air to create a fuel vapour. This is the intake valve. The other valve connects with the exhaust system, the muffler and exhaust pipe through which combusted fuel products leave the cylinder.

The piston fits tightly within the cylinder below the valves. The piston can move smoothly up and down the cylinder, but piston rings (thin bands of flexible metal set into the piston) create a seal with the cylinder with the help of a thin film of lubricating oil on the cylinder walls. This oil film reduces friction which would otherwise overheat the metal parts.

The piston is connected to a crankshaft by a connecting rod. As the illustration shows, the crankshaft has a number of eccentric lobes or cranks to which the connecting rods are attached. As the piston moves up and down, this motion is translated by the connecting rod and cranks to create rotation in the crankshaft. This rotational force is transmitted to the wheels of the car. Although the gears within the car's transmission alter the ratio of engine rotation to wheel rotation to vary the speed, the engine works in the same manner, no matter how quickly or slowly you drive.

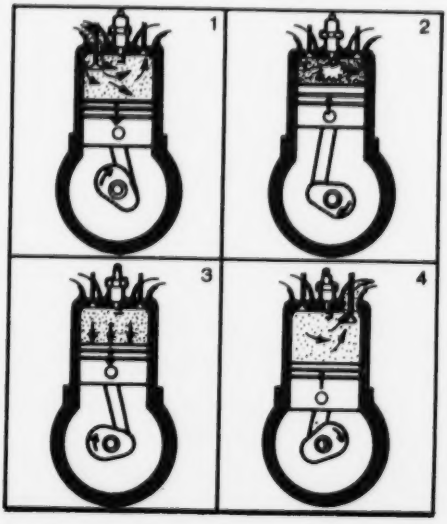
The space above the piston is where fuel combustion takes place. When gasoline is turned into a vapour and mixed with air, it is highly combustible. When it is ignited it burns, creating a much larger volume of combustion gases very quickly. The force resulting from this expansion of combustion gases within the cylinder powers the engine. The next illustration shows how the engine captures the energy created by this process.

As the engine runs, a series of events takes place in each cylinder. As the piston moves



A gasoline engine. The piston (A), which slides up and down inside the cylinder (B), is connected by a rod (C) to the crankshaft (D) which, like a bicycle pedal, changes the up-and-down movement of the piston into a circular movement. A heavy metal flywheel (E) revolves with the crankshaft. This cylinder has two valves: an intake valve (F1) and an exhaust valve (F2). These valves are opened by smooth pieces of metal called cams, which are mounted on camshafts (G). The camshafts are geared to the crankshaft to move in step with it, each cam opening its valve once during the four strokes that the piston must make to complete one cycle. The spark plug (H) ignites the explosive fuel-air mixture at the correct moment.

The combustion cycle in a gasoline engine.



down, the intake valve opens and a mixture of gasoline vapour and air supplied from the carburetor moves into the cylinder (1). As the piston begins travelling upwards, the intake valve closes, sealing the cylinder. The fuel mixture is compressed and, near the top of this compression stroke, the spark plug fires, igniting the fuel (2). The rapid expansion of the burning fuel forces the piston down (3) and the power created is transferred to the crankshaft through the connecting rod. As the piston again rises in the cylinder, the exhaust valve opens and burnt fuel is pushed out of the cylinder (4). Then the whole sequence begins again — intake, compression, combustion and exhaust. The piston travels up and down the cylinder twice in each cycle.

Multicylinder car engines are designed so that the cylinders operate separately at slightly different times, but all are connected to the crankshaft. This means that at least one cylinder is always in the combustion phase of the cycle and supplying power to drive the other cylinders through the noncombustion phases. The greater the number of cylinders, the smoother the power output from the engine; in smaller engines, higher RPM (revolutions per minute) partly compensates for the fact that there are fewer cylinders.

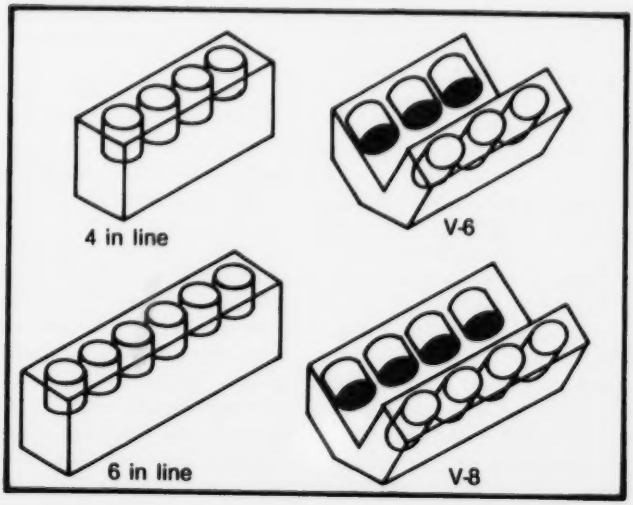
Gasoline Blending

In order to work properly, gasoline engines must be supplied with fuel with certain characteristics. The most important of these are the ability of the fuel, first, to form a flammable vapour and, second, to avoid igniting before the spark plug fires. The vapour pressure of gasoline relates to the first characteristic and the octane number to the second.

Vapour Pressure

The vapour pressure of gasoline is a measure of its ability to form the volatile gases needed for proper combustion. The details of how vapour pressure works are not important here; what is important is that vapour pressure that is too high or too low prevents the engine from working. This is further complicated by climatic conditions; gasoline

The cylinders in multicylinder engines can be arranged in a single row or line, or in a 'V' arrangement. In V-type engines, the two rows of cylinders are set at an angle to each other. This arrangement results in smoother engine operation. Since the cylinders are closer together, the engine is shorter and requires less space; also, the fuel-air mixture from the carburetor can be more efficiently distributed.



that vaporizes properly in the heat of summer will not vaporize sufficiently in the cold of winter. Conversely, winter blends of gasoline will vaporize too easily in the summer, creating problems for other engine components like the fuel pump. As a result, refiners must constantly adjust the vapour pressure characteristics of gasoline to suit seasonal conditions.

The best way to adjust vapour pressure is to vary the amount of light volatile hydrocarbons in the blend. Butane, the fuel used in disposable cigarette lighters, is used for this purpose because it has a high vapour pressure and turns into a gas at low temperatures. In winter the amount of butane blended into gasoline is increased to raise the vapour pressure. In summer the butane content is cut back. You may have noticed that when your car is being fuelled a wavy-looking vapour comes out of the gas tank fill-pipe — this is butane evaporating from the gasoline entering the tank.

Octane Number

As mentioned earlier, for the engine to work properly the fuel-air mixture within the cylinder must not ignite before the spark plug fires. If preignition occurs, the energy delivered through combustion will drive against the piston while it is still moving up the cylinder. Preignition causes engine knocking, as well as run-on after the car's ignition is shut off. Besides making the engine run badly, knocking puts considerable stress on other engine parts like the crankshaft and connecting rods, which leads to increased wear.

To prevent knocking, careful blending of gasoline components is required. Remember that gasoline forms a combustible mixture which is drawn into a hot engine cylinder and then compressed, creating further heat. The measure of a gasoline blend's resistance to knocking is indicated by its octane number; the higher the number the more resistant it is. Premium blends of gasoline are those with a higher octane number. Often, if a car engine knocks, it is advisable to use a higher octane premium gasoline.

The octane rating of a specific gasoline blend is determined through careful testing against a test fuel. The test fuel contains iso-octane, a hydrocarbon that resists preignition. The proportion of iso-octane is varied until the test fuel has the same ignition characteristics as the blend; the percentage of iso-octane at that point indicates the octane rating of the blend. The higher the octane number of a gasoline blend, the greater the percentage of iso-octane needed in the test fuel to achieve matching ignition characteristics.

When blending gasoline, the refiner must ensure that each blend meets octane requirements established cooperatively by engine manufacturers, the oil industry and government. As the following chart shows, the various refined fractions used to blend gasoline have different octane ratings:

Fraction	Typical Octane Number
Alkylate	97.3
Straight run gasoline	66.4
Reformate	94.0
Cat cracked gasoline	92.3
Butane	93.0

Regular gasoline contains lead compounds that act as octane enhancers — they raise the octane number of blending components without altering other characteristics such as vapour pressure. While this makes the refiner's job easier, these lead compounds can be hazardous to health, and concern over their environmental impact has resulted in the gradual reduction of permissible lead content in gasoline.

Unleaded gasoline requires a greater proportion of high octane components to achieve the same octane levels. This makes the refiner's job more complex and increases production costs. As the previous table shows, the major gasoline components with high octane numbers are those produced through fairly complex or severe refining processes, such as alkylation and catalytic reforming. While butane can also boost octane levels, it is

not a major blending constituent and serves primarily to alter the vaporization characteristics of the fuel. Consequently, there are limits to the amount of butane that can be introduced into the blend.

The fractions available to increase octane levels have another troublesome characteristic; as the refiner adjusts some processes to increase the octane of a particular fraction, the yield of that fraction generally decreases. Catalytic reforming is a good example. The main product of this process is a valuable high octane fraction, reformate. The octane number of reformate can be increased during production by adjusting the process equipment, but at a cost. If the octane number of reformate is increased from 90 to 100, the yield can drop by 7 to 9 per cent. As a result, the operation of processes yielding high octane gasoline blending fractions must be carefully balanced with all other refining processes. The refiner must produce a fuel with acceptable octane levels at the lowest possible cost without any fractions being left over.

Diesel Engines

At first glance, a diesel engine looks much the same as its gasoline-fuelled counterpart, except that a number of parts are missing. A diesel engine lacks spark plugs and a carburetor, and does not have any of the additional parts associated with these components, such as ignition wires, a distributor or a high-voltage ignition coil. Unlike the spark ignition gasoline engine, diesels use self-igniting fuel with characteristics very different from those of gasoline.

The basic design of a diesel engine is in many ways similar to that of a gasoline-powered unit. The piston, cylinder and crankshaft work in the same manner and the top of the cylinder also contains valves. However, in place of a spark plug the diesel engine has a fuel injector, a high pressure pump which injects liquid fuel into the cylinder.

The operating cycle of the diesel is similar to that of a gasoline engine but with some important differences. As in a gasoline engine, the cycle starts with the piston moving downwards, but in a diesel engine only air is drawn in through the intake valve, not a fuel-air mixture as in a gasoline engine. Because the fuel is not premixed with air in a diesel, no carburetor is required. As the compression stroke begins, the intake valve closes to seal the cylinder. As the piston reaches the top of the cylinder and compression nears its maximum, the injector sprays diesel fuel into the cylinder. This fuel is injected as a liquid in a fine mist form rather than as vapour and begins to burn as it comes into contact with the highly compressed air within the cylinder.

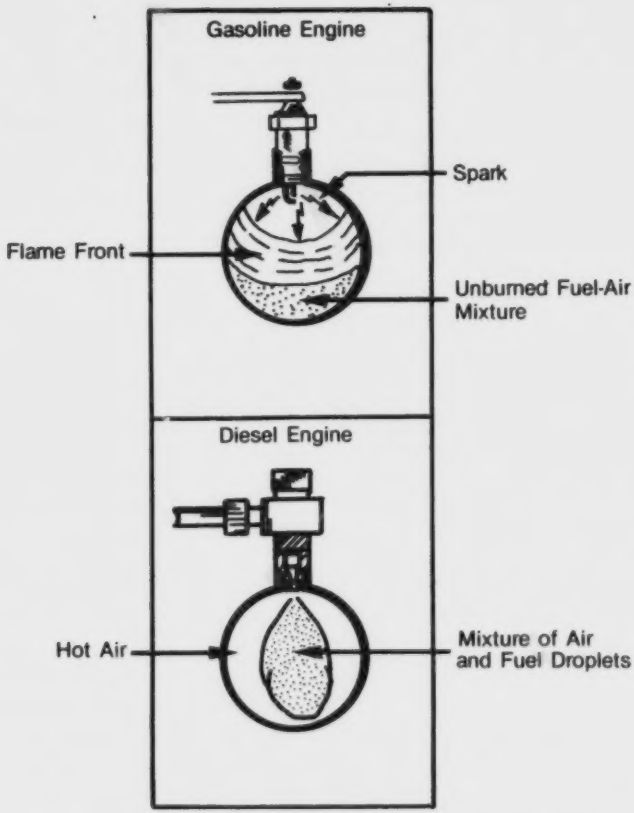
So why does the fuel self-ignite? The compression of air within a diesel is much greater than in a gasoline engine — two to three times greater in fact. Compression creates heat, and in a diesel engine the rapidly compressed air reaches temperatures sufficient to ignite the injected fuel.

As the fuel burns, the expanding combustion gases drive the piston downwards and this force is transmitted through the connecting rod and crankshaft to the wheels. The final upward stroke following combustion pushes the exhaust gases out of the exhaust valve and the cycle begins again.

Diesel Fuel Blending

As the operation of a diesel engine indicates, diesel fuel must have very different characteristics from gasoline. While gasoline must resist self-ignition, diesel fuel must encourage it. And unlike gasoline, which is combined with air and vaporized before entering the cylinder, diesel fuel is injected into the cylinder alone, as a fine mist of unvaporized droplets.

Diesel fuel is made from heavier fractions than gasoline and its key qualities are its cetane number and viscosity. The cetane number of diesel fuel relates to the time delay between injection into the cylinder and ignition. The higher the cetane number, the shorter the time delay before ignition; in a sense, the cetane number is the inverse of the octane number. Viscosity is the measure of the fuel's ability to flow at a given temperature; it affects the ability of fuel injectors to properly handle fuel.



The main difference between the operation of a diesel and a gasoline engine is in the combustion of the fuel. In the gasoline engine, the fuel-air mixture is drawn into the cylinder, compressed (at a ratio of 7:1 to 10:1) and ignited by a spark. In the diesel engine, air alone is drawn into the cylinder and compressed to a much higher ratio (14:1 to 25:1), causing its temperature to rise dramatically. Only then is the fuel injected into the cylinder, where it ignites spontaneously because of the high temperature.

If a diesel engine is operated using fuel with an inadequate cetane number, unacceptable knocking can result. While this knocking is similar to that which can occur in a gasoline engine operating on low octane gasoline, the causes are different. In a diesel, the fuel should burn as soon as it enters the cylinder. Injection takes place for only a fraction of a second, but the initial charge should be burning before injection stops. If the fuel has too low a cetane number and is resistant to self-ignition, it will accumulate in the cylinder for a brief time before combusting. When it does burn, all of its energy will be released at once, rather than evenly over the injection period. This short but powerful burn cycle puts excessive pressure on the piston, creating knock. As well, low cetane fuels promote smoky diesel exhaust — one reason why urban bus operators prefer to use cleaner-burning premium diesel fuel blends.

The viscosity of diesel fuel is also important. If the fuel is too 'thick' it is difficult

to inject properly and will produce less power and more exhaust smoke. Under extreme winter conditions, some of the components used in diesel fuel become waxy solids, which can clog fuel lines and injectors. The refiner must ensure that the blend being produced is suited to the current climatic conditions.

Generally, the components that make good gasoline make very poor diesel fuel. The refiner blends diesel from a different range of fractions. The accompanying table shows the major diesel blending fractions and their cetane numbers. Regular diesel fuel has a cetane value of 40-45, while premium grades are in the 45-50 range.

Fraction	Typical Cetane Number
Straight run light gas oil	45-50
Cracked light cycle oil	26-35
Kerosene	45

Traditionally, blending of diesel fuel presented the refiner with few problems as the necessary fractions were produced in large quantities. As the quality of available crude oil has declined, diesel production has become more difficult. Heavier grade crudes and synthetic oils which are refined using existing processes yield much lower quantities of high cetane fractions. Consequently, blending of premium diesel has become a concern. This situation will improve as better cetane-enhancing additives or new refinery systems capable of yielding greater quantities of high cetane fractions are brought into use.

Gasoline and Diesel Engine Performance

There are significant differences in the performance of gasoline and diesel engines. Gasoline engines are generally lighter and less expensive to build than diesels because they operate at lower internal pressures. As well, the injector system used in diesels is more complex and exacting than the carburetion system typical of most gasoline-powered units.

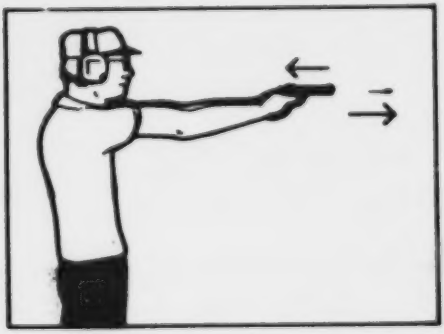
The lower cost and weight of gasoline engines has distinct advantages in smaller vehicles and, as a result, these engines dominate the automobile and small truck market. Gasoline engines make more sense for vehicles requiring high power output relative to their total weight. The greater fuel efficiency of diesel engines has resulted in their installation in light-duty vehicles, but extra initial cost, noise, fuel availability and other difficulties weigh against their use in many smaller vehicles.

Diesel engines are the workhorses of the transportation system. The diesel provides the type of power needed to move heavy loads more efficiently and reliably than gasoline engines. As a result, commercial trucks sold in Canada are almost exclusively powered by diesel engines, and diesel powers virtually all rail transportation.

Turbines or 'Jet' Engines

The third major engine type used in the transportation system is the turbine or 'jet' engine. Jet fuel is similar in nature to diesel fuel, except that it is made from the lighter diesel blending fractions such as kerosene. This helps to reduce the amount of smoke created by jet aircraft and controls the problem of fuel viscosity, an important safety consideration.

The turbine engine operates very differently from a piston-driven internal combustion engine. Before looking at the mechanics of turbines, two basic concepts need to be explained. Firstly, the power that moves aircraft is thrust — air and combustion gases being thrown out by the engines. The illustration below shows the dynamics of thrust,



using a gun as an example. When the gun is fired, a bullet is thrown out of the barrel. The kick of the gun in the opposite direction is thrust created by the bullet's departure. This is the basis of Newton's third law of motion: for every action (the bullet moving forward) there is an equal and opposite reaction (the gun kicking against the hand). Jet engines derive thrust from throwing a large volume of air and combustion gases out in a steady stream.

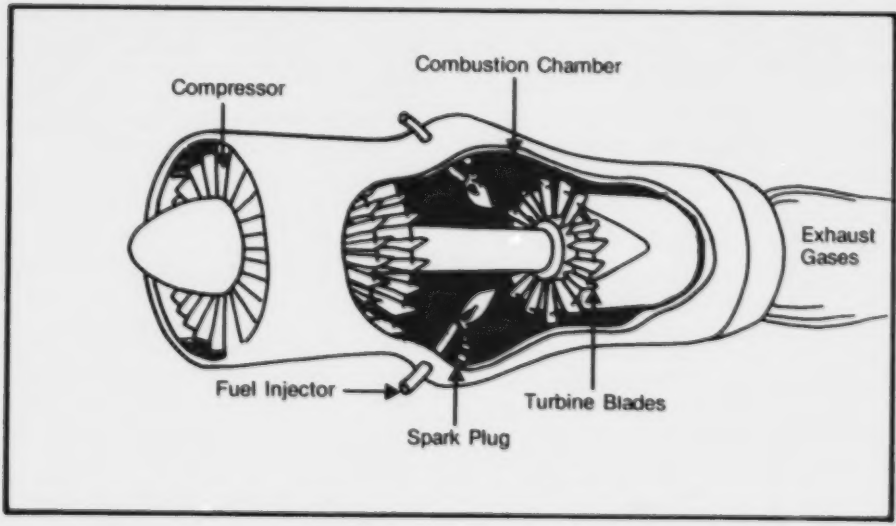
The second concept was mentioned in previous discussions of gasoline and diesel engines; when fuel is burned a very great volume of gases is created. This is what moves the piston in the cylinder and what produces thrust gases in a jet engine.

A turbine engine operates as illustrated here. The turbine is housed within a tubular casing or skin; this is the part of the engine visible on most aircraft. Within the casing are two sets of turbine blades or rotors. The turbine blades work in much the same way as a fan, but at very high speeds. Air is drawn in and compressed considerably by the front rotors. This compressed air is channelled to a number of combustion chambers into which fuel is sprayed. A spark plug may be used to ignite the fuel but, as combustion in a turbine is continuous, once ignition has occurred the combustion process is self-maintaining.

Once ignited, the fuel creates a large volume of hot exhaust gases which expand and accelerate through the turbine blades at the back of the engine, turning them and, because they are attached to the same shaft as the front rotors, powering the engine. After passing through the turbine blades, these exhaust gases leave the engine through the exhaust nozzle, producing the thrust that powers the aircraft.

A jet engine is started by an auxiliary power unit, usually a smaller turbine which forces gases through the back turbine blades of the main engine. The force of these gases brings the main turbine up to operating speed. At that point, fuel flow is started and an ignition spark is provided. Once operating, the engine produces a constant thrust, unlike the pulsed power produced by a piston engine.

A jet turbine.



Jet Turbine Fuel

As mentioned earlier, much jet engine fuel is very similar to diesel fuel but contains a higher proportion of the lighter diesel fractions such as kerosene. However turbine engines are able to make use of a broader range of fuels than piston engines. About one third of the jet fuel used in Canada is based on naphtha, a lighter fraction also used in the production of gasoline. Naphtha-based turbine fuel is called Jet B, while the fuel composed of kerosene and other diesel fractions is Jet A.

Jet fuel quality is very strictly regulated to ensure safe engine operation. The fuel must burn cleanly: the level of smoke produced by jet fuel is regulated to environmental standards. Since aircraft flying at high altitudes are subjected to extremely cold temperatures, even during the summer months, the performance of jet fuels at low temperatures is critical. The fuel must flow easily at low temperatures, be free of water (which could freeze and cause blockages) and burn cleanly even under very cold conditions. Heavier blending fractions are unsuitable for use in aircraft fuel because they contain wax-forming components and produce excessive amounts of smoke when burned at subzero temperatures. The consequences of aircraft engine malperformance are too serious to allow any compromise in fuel quality.

THE FUTURE OF THE CONVENTIONALLY FUELLED TRANSPORTATION SYSTEM

A number of significant trends affecting the future of conventional oil-based fuels, in terms of production as well as use, are already well established. These relate to the production of crude oil and its refining, as well as to the end use of petroleum fuels within our transportation system.

As described at the beginning of this booklet, transportation consumes the major portion of all oil used in Canada, and this pattern will continue into the next century. Within the transportation system, 80 per cent of all energy used is consumed by road vehicles — automobiles and trucks. In the past, the rate at which energy was used for transportation grew rapidly, about 6 per cent each year through the 1960s and early 1970s. After the oil crisis, this rate slowed to 3 per cent between 1973 and 1978. Since then, transportation energy use has actually declined by about 1 per cent per year.

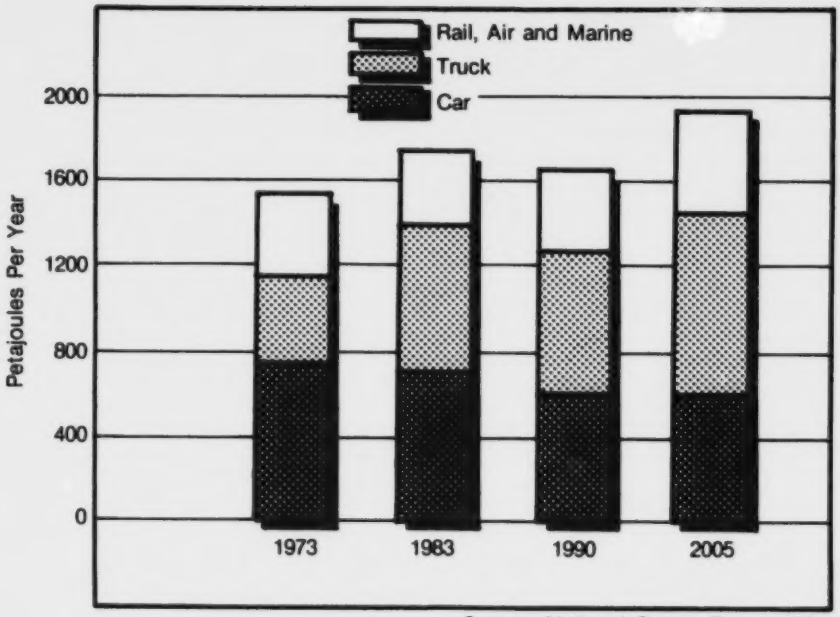
This recent decline resulted from a number of factors.

- As a result of general economic conditions, the number of new cars sold has tended to decline, so there are fewer cars in operation than expected. Also, Canadians are driving less than in the 1960s and early 1970s.
- Of the new cars sold, smaller and more fuel-efficient models now make up the majority. As a result of this trend, together with overall improvements in car efficiency, the average fuel efficiency of Canada's automobile fleet has increased by about 4 per cent each year since 1978 and.
- In the truck fleet, the proportion of more efficient diesel-powered vehicles has been steadily increasing.

According to National Energy Board estimates, these trends are expected to continue over the next decade. The proportion of smaller, more fuel-efficient cars is expected to increase to 70 per cent of the total market. As a result, the overall efficiency of the automobile fleet is likely to continue to improve at a rate of 4 per cent per year until 1990 and at a lower rate after that time. Experts estimate that the combined impact of future engineering improvements in automobile design could boost efficiency by an additional 25 to 50 per cent over present levels.

This continuing trend in automotive fuel efficiency means that, in absolute terms, the amount of gasoline needed in Canada is likely to decline in the future. While Canadians will probably continue to purchase and operate cars in increasing numbers, efficiency gains are expected to more than offset this. The accompanying graph illustrates current estimates for total transportation energy demand to 2005; cars are expected to account for a decreasing proportion of our transportation fuel needs.

Diesel fuel use is expected to continue to increase as a result of the dominance of the diesel engine in the truck fleet, as well as a general increase in the number of trucks in use. This growth is likely to overshadow the projected 2 per cent annual energy efficiency gains in trucks resulting from improved design and better operating procedures by drivers.



Source: National Energy Board (1984)

Canadian transportation energy demand. One petajoule is equivalent to the amount of energy contained in nearly 26 000 cubic metres of conventional light crude oil.

Jet fuel usage will probably not change as dramatically as that of other fuels. While an increase in air travel is expected, this is likely to be largely offset by improved fuel efficiency in new planes.

Why Changes May Occur

The foregoing description of future conventional transportation fuel use is very general and does not really explain how these changes could come about. The following section describes in more detail how the various components of the oil production, refining and transportation system may change.

Crude Oil Production

Canada's reserves of conventional light crude oil are declining. This is the crude which our refineries were built to process, high quality oil that yields large proportions of the transportation fuels we use. The amount of light conventional crude produced in Canada has been declining since the mid-1970s. Much of the additional oil now being refined consists of synthetic stock produced from the oil sands, heavy grades of oil and enhanced production from older oil fields. All of this new oil is more expensive to produce and much of it is more difficult to refine.

The major new Canadian oil reserves expected to begin producing during this century are frontier fields, offshore and Arctic oil. This crude will be high quality, simplifying the refiner's task somewhat but, because of the difficulty of producing oil in frontier regions, the cost of the crude will be high by previous standards.

Canada is not the only country faced with declining stocks of light crude oil; the decreasing producibility of light crude is virtually a worldwide phenomenon. Most of Canada's import requirements are for light

Oil and natural gas are found in areas known as sedimentary basins. We have already tapped much of the 'easy' oil in the inland basins; our future supplies of conventional crude oil will have to be obtained from the harsh environment of the Arctic and offshore basins.

crude, but problems of cost and availability of imported oil may require refineries to adjust to heavier imported crudes in the future.

The impact of these changes in crude oil production and availability on the oil industry and on refiners is likely to be significant. When oil was first discovered in North America, establishing an oil well involved little more than drilling a relatively shallow hole in the ground. Today, the front-end costs of exploration and development are very large. A single borehole drilled in some frontier areas can cost tens of millions of dollars with no assurance that it will result in oil production. The construction costs of synthetic oil plants to recover Canada's nonconventional oil sands oil run into the tens of billions of dollars.

Refining

For refiners, processing lower grades of crude and synthetic oil also involves greater costs and technical challenges. Refining processes must be changed to efficiently handle these grades of crude, and production of adequate volumes of specific fuels like diesel is still difficult. Over the last decade, refineries have undergone extensive changes aimed at squeezing more product out of each barrel of crude oil.

At the same time, changes in fuel quality requirements have also been affecting refiners. In particular, more stringent regulations governing vehicle emissions are altering fuel specifications. Since the catalytic converters used to reduce automobile emissions require unleaded fuel, there has been a

shift in demand from leaded to unleaded fuel; successive increases in the stringency of environmental regulations have accelerated this shift. In addition, permissible levels of lead in leaded gasoline have been progressively lowered both in Canada and in the United States. Increasing controls on emissions from heavy duty vehicles likewise influence diesel specifications.

Decreases in permissible lead levels mean that refiners must either produce higher octane gasoline through more severe refining processes (with a consequent sacrifice in yield) or use a more environmentally acceptable octane enhancer. Increasingly, oxygenated hydrocarbons such as alcohols and ether have been gaining prominence as octane enhancers. Incorporating these oxygenates into gasoline requires adjustments in refinery processes and vehicle specifications.

New engine developments, the growing demand for diesel fuel and efforts to reduce the amount of energy consumed in refinery processes are all factors which are likely to continue to influence the refining of crude oil and the quality of vehicle fuels.

Engine and Vehicle Technology

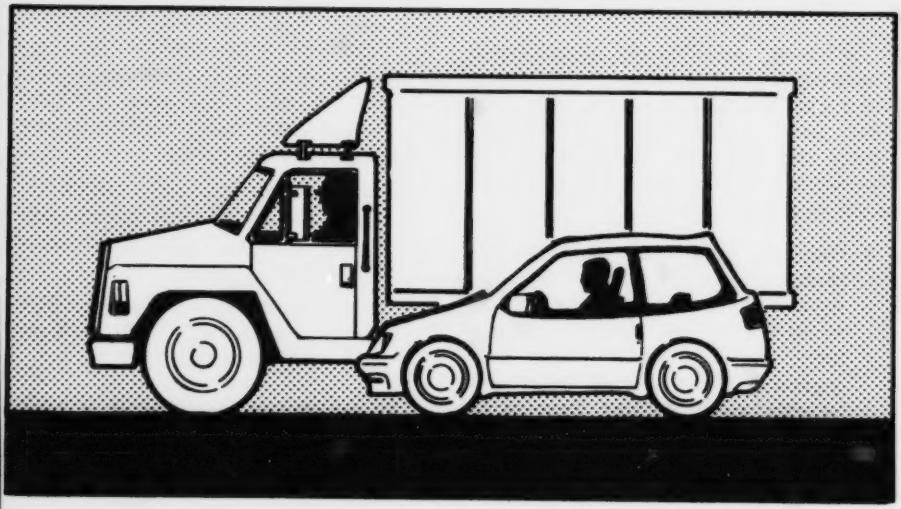
As outlined earlier, the energy efficiency of vehicles, particularly cars and trucks, has increased significantly over the last decade. Continuing improvements should produce even higher levels of efficiency. There are a number of technical and design measures responsible for these improvements.

Gasoline-Powered Vehicles

Although increasing numbers of automobiles are powered by diesel and gaseous fuels, gasoline remains the overwhelmingly dominant car fuel. Efficiency improvements in automobiles to date have resulted from a number of design changes, some obvious and others less so.

- Design improvements have enabled manufacturers to provide the same usable interior in a smaller car. Smaller, more aerodynamic and considerably lighter cars are being built, allowing smaller and more efficient engines to be used. This has led to the largest share of efficiency gains.

By driving more fuel-efficient cars and trucks, Canadians are helping to make conventional fuel supplies last longer.



- The relationship between engine horsepower and vehicle weight has been altered. As a result of design improvements and innovations such as turbochargers, the required power can be delivered by a smaller engine. (Turbochargers are turbines powered by exhaust gases which ram more combustion air into the engine cylinders, increasing peak power output). As well, new engine designs are more efficient, so that less energy is used to overcome mechanical losses within the engine and drive train (transmission, differential, driveshaft and wheels). Widespread use of front-wheel drive has improved vehicle efficiency, permitting weight-reducing design changes.
- Changes in transmission design have allowed engines to operate more efficiently. For example, additional gears, especially cruising speed overdrive gears, allow the engine to provide power more efficiently.
- The increasing use of electronics in controlling engine operations has allowed more precise and efficient carburetion or injection and ignition of fuel.
- Radial tires, more energy-efficient than conventional bias ply tires, have now become standard equipment on most cars.

While the fuel efficiency improvements resulting from these design changes have been considerable, additional measures are still possible. A number of new features being developed and incorporated into automobiles should improve performance, as well as fuel economy.

- Consumer demand for higher engine performance is being met by turbocharging and gasoline fuel injection systems which increase power output without a hefty efficiency penalty. Cars with engines half the size of yesterday's 'muscle cars' deliver impressive performance.
- Advanced combustion chamber designs are being developed to increase the overall power output of smaller engines, allowing further reduction in the size of engines, thus saving weight and fuel.
- New transmission systems, such as the variable speed automatic transmission, promise improved energy efficiency. This system eliminates the use of set gearing in cars (e.g., first, second and third gears) and replaces it with a single variable ratio drive gear. The result is that the engine can maintain its most efficient operating speed at any driving speed.

Diesel-Powered Vehicles

The increase in the cost of energy set in motion by the oil crisis had a particularly profound impact on the commercial trucking industry, our primary user of diesel engines and fuel. Truck manufacturers have worked hard to increase the efficiency of short- and long-haul trucks, with significant results.

- The aerodrag or wind resistance of large trucks has been reduced through the use of wind deflectors and fairings mounted on the truck cab or leading trailer wall. As well, air dams beneath the engine reduce energy-wasting wind turbulence beneath the truck.
- Modern high torque rise diesel engines allow drivers to operate their trucks at much lower engine speeds where energy efficiency is highest. These engines are combined with transmissions that allow frequent, progresaive shifting to keep the engine speed down.
- Many powered accessories, such as the fan, which traditionally operated constantly, are now automatically switched off when not required.
- Improvements in truck tire design have produced much more energy-efficient tires, such as radials.

Energy-efficient operation of a truck depends, in large part, on the operator. While the improvements mentioned can deliver considerable savings, the driver

must use the truck properly to achieve these. Consequently, most trucking companies, being aware of the high cost of diesel fuel, provide training and encouragement to their drivers in energy-efficient driving techniques.

Future improvements in truck efficiency can be expected as a result of continued aerodynamic improvements such as side wind deflectors and side-vented engine cooling intakes.

In Summary

This booklet has described the general characteristics of Canada's conventional transportation fuel industry. As you have read, producing today's vehicle fuels is a complex and challenging process which is undergoing constant development. Vehicle fuels produced from conventional crude oil are only one part of the story; synthetic oil from Canada's oil sands and heavy oil reserves is already playing a major part in meeting our fuel needs. As well, gaseous fuels, such as propane and natural gas, are powering more vehicles each year. Alcohol fuels derived from natural gas and renewable sources are also beginning to have an impact on our fuel use. The challenge faced today by the fuel and vehicle industries, and by governments, is to ensure that future fuels and the vehicles that use them continue to provide Canadians with the efficient, reliable transportation on which our wellbeing depends.

GLOSSARY

Alcohol — One of a large series of organic compounds; some occur naturally but most are manufactured. Formed by replacing one or more hydrogen atoms in a hydrocarbon molecule with a hydroxyl group.

Alkylate — High-octane product of the refining process known as alkylation; useful in gasoline blending.

Alkylation — Process of combining isobutane with an alkylating agent (usually an olefin, such as propylene) with the aid of an acid catalyst to produce heavier feed for fractionation. Opposite process to cracking.

Antiknock — Resistance of motor fuel to the tendency to knock (see Knocking).

Anticline — Upward folding of rock strata beneath the earth's surface, which traps crude oil and natural gas beneath an impermeable layer of rock and creates a reservoir.

Aviation fuel — Volatile liquid fuel that is suitable for burning in aircraft engines. Available in a number of different grades.

Bitumen — Viscous mixture of hydrocarbons, which occurs naturally but is not commercially recoverable by standard methods. Also hydrocarbon residue from distillation of some crude oils.

Boiling point — Temperature at which a substance changes from a liquid to a vapour and vice versa at a specified pressure.

Borehole — A hole made in the ground with a drilling bit for the purpose of exploring for hydrocarbons or releasing accumulations of gas.

Butane — Highly flammable, volatile, gaseous hydrocarbon (C_4H_{10}) that is extracted from natural gas or produced by cracking petroleum. Used as a blending compound to increase the vapour pressure of gasoline and promote cold starting. Exists in two different molecular forms or isomers; in normal butane (n-butane), the four carbon atoms are arranged in a straight line, but in isobutane they form a branched chain. The calorific value of n-butane is higher.

Carbon monoxide — A colourless, odourless, toxic gas composed of equal parts of carbon and oxygen. Produced by partial combustion (oxidation) of hydrocarbon fuels, and therefore a major pollutant from automobiles. Also a component of synthesis gas.

Carburetor — Component of a vehicle engine that automatically prepares and supplies to the cylinder the correct mixture of fuel vapour and air for efficient combustion.

Cat cracker — Apparatus for catalytic cracking.

Catalyst — A substance that helps to initiate a chemical reaction and enables it to proceed under less severe conditions (for example, at a lower temperature or pressure), but remains unchanged itself.

Catalytic cracking	Refinery process of converting straight-run heavy gas oils into lighter fractions under pressure with the aid of a catalyst.
Catalytic reforming	Upgrading of straight-run naphtha by chemically rearranging the molecules with the aid of a catalyst to form hydrocarbons with a higher octane number. Comprises numerous simultaneous reactions, such as cracking and dehydrogenation.
Cetane	Liquid hydrocarbon ($C_{16}H_{34}$) used as a reference fuel for diesel engines because of its excellent ignition characteristics.
Cetane number	A measure of the ignition quality of a diesel fuel when tested in a standard engine against a mixture of n-cetane (cetane number 100) and alphamethyl naphthalene (cetane number 0). The higher the cetane number, the shorter the delay before ignition. Present diesel engines require fuel with a cetane number of at least 40.
Coke	Solid carbon residue of coal or crude oil that remains after volatile hydrocarbons have been removed by distillation or cracking. Can be used as a feedstock for the manufacture of synthesis gas.
Completed well	Well from which the drilling equipment has been removed and which is in a productive state.
Condensate	Mixture of pentanes and heavier hydrocarbons produced from oil or gas wells; gaseous as produced when hot, but becomes liquid on cooling at the surface.
Connecting rod	Rod that connects the piston to the crankshaft in a piston engine.
Conventional fuels	Liquid hydrocarbon fuels obtained by refining crude oil.
Conventional oil reserves	Crude oil and condensate which can be recovered from an underground reservoir using standard production techniques.
Cracking	Refining process in which the larger hydrocarbon molecules in crude oil are broken down into lighter, simpler molecules (unfinished gasoline, kerosene and gas oils). Includes thermal cracking, catalytic cracking and hydrocracking.
Crankshaft	Main shaft of a piston engine that acts with the connecting rods to change the reciprocating motion of the pistons into rotary motion.
Crude oil	Raw petroleum in its naturally occurring state which can be recovered at a commercial rate through a well. Consists of a mixture of many different hydrocarbons with traces of impurities, differing in composition according to location.
Cut point	Specific temperature at which a fraction or cut is drawn off during the refining process.
Cycle oil	Residual oil left in a fractionator after useful fractions have been drawn off.
Cylinder	Engine component consisting of a metal tube containing a piston, piston rod and end seals and fitted with valves to allow entrance of fuel mixture and exit of burned gases.

Diesel fuel	High-grade fuel oil suitable for use in compression ignition engines. Available in different grades; regular has a cetane number of 40-45 and premium of 45-50.
Dieseling	The continued running of a spark ignition engine after the ignition is turned off. Caused by surface ignition from hot carbon or similar deposits or from the fuel igniting spontaneously too early in the engine cycle.
Distillation	Process of heating a liquid to the boiling point and collecting and condensing the resulting vapour (see Fractional distillation).
Distillation column	A tower used to separate crude oil into its various fractions by distillation.
Enhanced oil recovery (EOR)	Process of recovering additional oil from a depleted field by artificially improving the flow rate.
Flywheel	Heavy wheel used to absorb and store energy by means of momentum. Smoothes out fluctuations in power input.
Fraction	Product of refining or distillation consisting of all the compounds which boil between any two arbitrarily chosen temperatures or cut points. Examples are naphtha, kerosene and fuel oils.
Fractional distillation	Process of separating a mixture of liquids of different volatility, e.g., crude oil, into its various components by applying heat and then condensing each vapour as it is collected.
Fractionation	*See* Fractional distillation.
Fractionation column	Vertical apparatus used for separating gases or liquids into fractions according to their boiling points.
Fractionator	*See* Fractionation column.
Fuel-air mixture	Fuel and air supplied to an engine which, when burned together, expand and provide propulsion.
Fuel injector	High-pressure pump that injects liquid fuel directly into the engine cylinder.
Gas oil	Heavy refinery fraction (boiling point between 232°C and 426°C) used in industry and as a fuel for diesel engines.
Gasoline	Refined mixture of volatile, petroleum-derived hydrocarbon liquids with octane numbers ranging from 60 to above 100; used as a fuel for spark ignition engines.
Geophone	Instrument that detects vibrations passing through the earth; used in oil and gas exploration.
Grasshopper pump	Pump with a 'grasshopper' type of beam, first used on nineteenth-century steam engines and now used in conventional oil production.
Heating oil	Collective term used for a group of distillate fuel oils used to heat buildings.

Heavy cut	Higher-boiling-point petroleum fraction.
Heavy oil	Oil from deposits intermediate between oil sands and conventional crude oil. Flows very slowly or not at all under normal conditions.
Hydrocarbon	One of a very large series of chemical compounds, consisting solely of carbon and hydrogen atoms, which form the basis of all petroleum products. Those with few carbon atoms are gases and those with many are solids.
Hydrocracking	Refining process for splitting heavy hydrocarbons into lighter fractions by adding extra hydrogen under high pressure with the aid of an acid catalyst.
Hydrogen	The simplest and lightest element. In its molecular form it is a colourless, odourless, tasteless gas, but it never occurs naturally in this form.
Hydroxyl group	Part of a molecule, consisting of an atom of oxygen bonded to an atom of hydrogen. Characteristic component of alcohols.
Isobutane	See Butane.
Iso-octane	Flammable, colourless, liquid hydrocarbon (C_8H_{18}) used for comparing the ignition characteristics of different gasoline blends. A form or isomer of octane with a slight variation in the arrangement of the carbon and hydrogen atoms.
Jet A	Jet turbine fuel containing kerosene and other medium fractions (boiling range 150°C - 290°C).
Jet B	Jet turbine fuel containing mostly naphtha (boiling range 30°C - 280°C).
Knocking	Pinging sound in a spark ignition engine caused by the fuel-air mixture self-igniting before the spark is passed at the spark plug; can lead to engine damage. Prevented by using a higher octane fuel.
Leaded gasoline	Gasoline containing a small quantity of tetraethyl or tetramethyl lead to raise the octane number, thereby increasing the antiknock quality of the fuel.
Light ends	Unwanted gaseous hydrocarbons produced during refining. Can be combined into heavier fractions for gasoline blending.
Liquefied petroleum gas	A group of hydrocarbon gases, primarily butane and propane, obtained from crude oil and natural gas production and also as byproducts of refining. Compressed to liquid form for storage and transportation and used as a fuel.
LPG	See Liquefied petroleum gas.
Methane	Colourless, odourless, flammable gas with the formula CH_4, making it the simplest hydrocarbon. Main constituent of natural gas.
Naphtha	Petroleum fraction with boiling range of 70°C to 200°C. Octane number is too low for direct use as gasoline.

Natural gas	Flammable mixture of gaseous hydrocarbons, mainly methane. Occurs naturally, usually in association with crude oil.
Octane	Flammable, petroleum-derived hydrocarbon (C_8H_{18}) that exists in many molecular forms or isomers (see Iso-octane).
Octane number	An arbitrary value that indicates the antiknock quality, or grade, of a gasoline, i.e., provides a measure of the resistance of the fuel to premature ignition. Iso-octane (octane number 100) is added to n-heptane (octane number 0) to produce a mixture with the same knocking characteristics as the gasoline blend being tested. The proportion of iso-octane in the mixture indicates the octane number of the gasoline blend. Available gasoline blends usually range in octane number from 92 to 100.
Oil sands	Sedimentary deposits of coarse sand impregnated with heavy, tar-like oil which is too viscous to be recovered through a conventional well.
Olefin	One of a group of manufactured hydrocarbons that are characterized chemically by a double bond between two hydrogen atoms, making them very reactive and therefore useful industrially. Ethylene and propylene belong to this group.
Pentane	Colourless, flammable hydrocarbon liquid (C_5H_{12}) derived from petroleum and found in gasoline.
Piston	Engine component that moves back and forth in the cylinder under the force of the exploding fuel.
Piston engine	A type of engine characterized by reciprocating motion of pistons in a cylinder. Most automobile engines are of this type.
Premium blend	Gasoline with a high octane number.
Propane	Heavy, volatile, colourless hydrocarbon gas (C_3H_8) that can be readily liquefied at ambient temperatures and is the main component of LPG. Can be extracted from natural gas and is also produced during refining.
Refining	Process of heating crude oil until it separates into its chemical components, which are then processed into usable products.
Reformate	Useful high-octane product of the catalytic reforming process, which can be blended into a gasoline to increase its octane number.
Regeneration	Chemical treatment of a spent catalyst to remove carbon deposits from the surface. This restores the catalyst for reuse.
Regular gasoline	Gasoline blends containing lead compounds as octane enhancers. Have lower octane numbers than premium blends (see Leaded gasoline).

Reserves	Part of an identified resource of known quantity and quality, from which energy supplies can be economically recovered using currently available techniques.
Rotational force	Power created by rapid turning about an axis.
Run-on	*See* Dieseling.
Sedimentary basin	A former sea floor depression in which sediments are deposited; thicker in the centre, thinner towards the edges.
Seismic reflection surveying	Use of controlled explosions to explore for oil and gas. Variation in the shock waves reflected by geological formations is used to create a 'picture' of a deposit.
Spark ignition engine	A piston engine that relies on a spark plug within each engine cylinder to ignite the fuel. Gasoline-powered engines are of this type.
Spark plug	Device fitted onto the cylinder of a spark ignition engine that contains a pair of electrodes between which a spark passes to ignite the fuel.
Steam injection recovery	In situ technique involving injection of high-pressure steam to recover heavy oil and oil sands bitumen; may be cyclic (using one borehole) or continuous (using separate injection and production wells).
Still	Apparatus used in distillation, comprising either the chamber in which the vaporization is carried out or the entire equipment.
Synthetic crude oil	Oil produced by upgrading heavy oil and bitumen.
Synthetic fuels	Liquid or gaseous fuels, similar to those made from light crude oil, produced from bitumen, heavy oil, natural gas, coal or biomass.
Synthetic oil	*See* Synthetic crude oil.
Thrust	Propulsive power produced by backward ejection of air and combustion gases.
Turbine engine	Type of engine that converts the kinetic energy in a moving fluid into mechanical energy by the rotation of fan-like blades.
Unleaded gasoline	Gasoline blend containing sufficient high-octane hydrocarbons to ensure a high octane number without the use of lead additives.
Vapour pressure	The amount of pressure required to prevent a liquid from vaporizing in a confined space.
Viscosity	Measure of a liquid's resistance to flow at a specified temperature.
Volatile	Readily evaporates at relatively low temperatures.

LES CARBURANTS DE L'AVENIR

LES CARBURANTS CLASSIQUES

Canada

86-04547/

LES CARBURANTS DE L'AVENIR

LES CARBURANTS CLASSIQUES

TABLE DES MATIÈRES

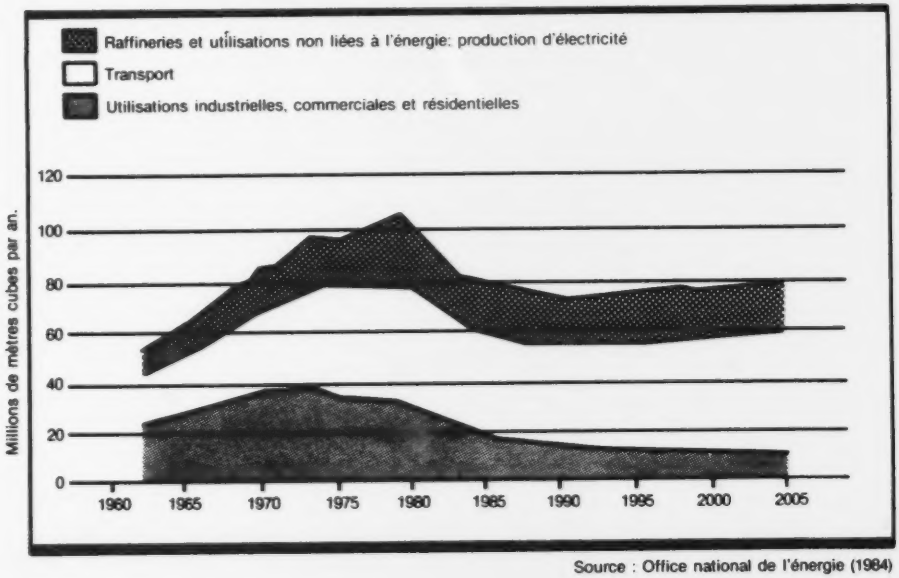
LES CARBURANTS CLASSIQUES	3
Introduction	3
Historique des carburants classiques	5
Techniques de production des carburants pétroliers	8
Technologie des moteurs et qualité des carburants	19
Les carburants classiques et les véhicules de demain	28
Glossaire	34

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986

No. de cat. M27-74/1986F

ISBN 0-662-93747-3

Demande de pétrole au Canada. Le transport représente la majeure partie de la demande de pétrole au Canada.



Source : Office national de l'énergie (1984)

LES CARBURANTS CLASSIQUES

INTRODUCTION

Le transport des biens et des personnes est essentiel à l'économie canadienne. Nos produits sont expédiés partout au pays et de par le monde. Seul un réseau de transport efficace et économique rend un tel commerce possible. Les Canadiens eux-mêmes se déplacent beaucoup. Dans les airs et sur terre, le transport individuel et le transport en commun sous toutes leurs formes font partie intégrante de notre mode de vie.

Mais qui dit transport dit aussi carburant. Aujourd'hui, les carburants utilisés au Canada sont pour la plupart tirés du pétrole, et les transports consomment au moins la moitié du pétrole produit au Canada.

Les projets de recherche-développement étudient un grand nombre d'autres sources de carburant afin d'accroître les solutions de rechange dans les transports au Canada. Les plus importantes d'entre elles sont décrites dans les autres publications de la série *Les carburants de l'avenir*. Des programmes de démonstration, parrainés par les gouvernements, font connaître les avantages de certains carburants de rechange, tels le propane et le gaz naturel, pour les véhicules. À cet égard, l'entreprise privée participe activement à la commercialisation des nouveaux carburants; citons en particulier la mise en marché de mélanges contenant de l'essence et de l'alcool produit à partir de gaz naturel ou de résidus agricoles. Les carburants tirés du pétrole continueront certes à prédominer dans le proche avenir, mais l'emploi des substituts augmentera et se généralisera d'année en année.

La présente publication fait l'historique des carburants classiques tirés du pétrole : l'essence, le carburant diesel, les carburéacteurs. On y explique les techniques de production, les procédés de raffinage et l'utilisation de ces carburants au Canada. Lorsque nous faisons le plein dans une station-service, nous nous demandons rarement d'où vient ce précieux carburant. Entre le puits de pétrole et la pompe à essence, il y a tout un réseau complexe de raffinage et de distribution qui doit répondre à nos besoins, malgré les fluctuations de la qualité et de la quantité du pétrole brut. L'industrie pétrolière canadienne constitue un vaste système intégré qui transforme le pétrole brut en une multitude de produits allant des plastiques à l'asphalte, en passant par les carburants liquides. La consommation de carburants par les transports au Canada illustre bien l'ampleur de l'industrie pétrolière : il faut raffiner près de 50 milliards de litres de pétrole brut par année afin de répondre à la demande canadienne actuelle. Cela représente 2 000 litres par Canadien.

L'histoire de l'industrie pétrolière est étroitement parallèle à l'évolution de la force industrielle du Canada. C'est en grande partie grâce au pétrole si notre pays a progressé au cours du présent siècle. Certaines huiles servaient déjà à la fabrication de médicaments, de lubrifiants et d'huile à lampe avant l'avènement du moteur à combustion interne. Cependant, l'expansion du transport routier, aérien et ferroviaire (locomotives diesel) a vraiment été le coup d'envoi de l'essor de l'industrie pétrolière. De nos jours, la diminution de nos réserves de pétrole facilement exploitable et raffinable impose la mutation et l'évolution de l'industrie pétrolière et de nos modes de transport.

De plus, notre façon d'utiliser les produits pétroliers, notamment les carburants, évolue considérablement. Ainsi, on met au point des véhicules modernes, qu'il s'agisse d'automobiles, de camions ou d'avions à réaction, en

ayant en vue l'efficacité énergétique. L'utilisation plus efficace des carburants a eu une incidence marquée sur la consommation globale de l'énergie. En poursuivant dans cette veine, nous pourrons davantage assurer la sécurité énergétique de notre pays.

Cette publication décrit les techniques de raffinage du pétrole et la mécanique des moteurs classiques. Comprendre ces sujets est essentiel à qui veut apprécier à sa juste valeur l'importance des carburants classiques. L'exposé fait appel à des termes relativement peu techniques, l'accent étant mis davantage sur les notions de base que sur les détails.

Pour apprécier les carburants pétroliers à leur juste valeur, nous devrions passer en revue tous les services qu'ils nous rendent. Prenons le cas de l'automobile. Le transport individuel nécessite un véhicule qui soit à la fois sûr, efficace, fiable et qui puisse bien fonctionner à des températures extrêmes. Le carburant utilisé pour ce type de véhicule doit aussi posséder ces caractéristiques, mais en plus il doit être abondant, peu coûteux, facile à manipuler et capable de fournir une autonomie suffisante au véhicule. L'essence et le carburant diesel répondent à ces critères. Ces carburants sont si bien intégrés à notre mode de vie que nous prenons leur présence pour acquise, mais nous ne devons pas oublier tous les services qu'ils nous rendent.

Il est à prévoir que tous les nouveaux carburants seront comparés à l'essence et au carburant diesel, qui demeureront les étalons. Les carburants classiques dont il est question dans les pages suivantes ont certes aidé à l'édification du Canada moderne, mais nous entrons maintenant dans une époque où les carburants requis pour le transport proviendront de plus en plus de nouvelles sources : propane, gaz naturel, alcools et électricité. La transition des carburants classiques aux carburants de rechange prendra du temps. Elle demandera des recherches poussées et des investissements considérables à la fois de la part du gouvernement et de l'industrie. Notre système actuel de production des carburants classiques est le point de départ de cette transition.

HISTORIQUE DES CARBURANTS CLASSIQUES AU CANADA

L'utilisation du pétrole pour la fabrication des carburants est principalement un phénomène récent, mais l'humanité connaît le pétrole brut depuis des millénaires. Les suintements de pétrole, c'est-à-dire les traces de pétrole s'échappant librement du sol, n'étaient pas rares au Moyen-Orient et en Amérique. Nous savons que les anciens peuples employaient le pétrole à diverses fins : comme médicament, pour calfater les embarcations et les édifices, et même comme arme de guerre. La Bible nous signale que l'Arche de Noé et le berceau de Moïse avaient été calfatés au bitume, une forme naturelle de pétrole visqueux. Les Romains utilisaient le pétrole provenant des suintements de Sicile afin d'éclairer l'intérieur de leurs temples, et ils l'employaient aussi comme médicament pour traiter des maladies aussi diverses que la lèpre et la goutte. Bien avant la colonisation du Canada par les Européens, les autochtones recueillaient une huile visqueuse dans les suintements naturels et l'utilisaient comme base pour les peintures de guerre, comme médicament, comme adhésif et même comme produit pour éloigner les insectes.

C'est dans l'est du Canada que débuta la production commerciale de pétrole au milieu du XIX^{e} siècle. Les scientifiques avaient déjà découvert à cette époque que les hydrocarbures naturels comme le pétrole et le charbon pouvaient être transformés en combustibles liquides similaires aux huiles végétales et animales, lesquelles servaient avant tout à l'éclairage. Vers 1860, les procédés de fabrication des liquides de pétrole comme le kérosène étaient devenus plus efficaces; les nouveaux combustibles commencèrent alors à remplacer les huiles traditionnelles, notamment celles provenant du blanc de baleine.

Certains progrès techniques ont ouvert la voie à l'industrie pétrolière canadienne, laquelle naquit au début de la seconde moitié du XIX^{e} siècle dans le sud-ouest de l'Ontario. En 1858, le premier puits de pétrole en Amérique du Nord était foré à Oil Springs, près de London (Ontario). De nombreux puits ne tardèrent pas à suivre; au cours des années suivantes, plusieurs localités du sud de l'Ontario connurent de petites ruées vers l'or noir. Certains de ces premiers puits ont continué à donner du pétrole et l'on a foré de nombreux nouveaux puits au cours des dernières années. Également, les techniques modernes d'extraction ont permis de remettre en production bon nombre des premiers puits forés dans cette région. Les techniques employées au début permettaient de récupérer à peine 10 % du pétrole contenu dans la roche réservoir.

Aujourd'hui, le sud-ouest de l'Ontario produit peu de pétrole; cette région fut toutefois le centre de l'industrie pétrolière en Amérique du Nord au cours des années 1870 et 1880. La Compagnie Pétrolière Impériale Ltée, maintenant propriété d'Exxon, la plus grande multinationale au monde, a été fondée en 1880 par un groupe d'hommes d'affaires de London (Ontario). Peu à peu, l'industrie pétrolière se déplaça vers les nouveaux champs pétroliers américains et la Compagnie Pétrolière Impériale suivit le mouvement, tout en continuant la production au nord de la frontière.

En 1841, la Commission géologique du Canada, maintenant une direction d'Énergie, Mines et Ressources Canada, était fondée et les géologues entreprirent d'étudier les structures rocheuses pétrolifères. Sir William Logan, le premier directeur de la Commission géologique, élabora la théorie selon laquelle le pétrole se trouve dans des roches sédimentaires poreuses recouvertes de strates rocheuses denses et imperméables au pétrole.

Les premiers puits de pétrole étaient forés à l'aide de lourds outils enfoncés à l'aide de perches à ressort.

Les plis présents dans ces strates forment en quelque sorte des réservoirs qui emprisonnent le pétrole. Quant au pétrole, on croit qu'il provient de la décomposition des plantes marines et des animaux qui ont vécu il y a de cela des millions d'années. Cette théorie constitue la pierre angulaire de tous les travaux modernes d'exploration pétrolière.

Aux premiers jours de l'industrie pétrolière, l'extraction du pétrole faisait appel à des techniques fort primitives. On forait les puits en laissant tomber un trépan de métal lesté dans le trou de sonde, afin de briser lentement la roche. Des perches de bois servaient à soulever et à laisser tomber le trépan. À l'origine, le matériel était mû par la force musculaire, qui fût plus tard remplacée par des installations mécaniques. Il semble que la profondeur maximale atteinte à l'aide de ces techniques rudimentaires ait été de 300 m, ce qui demandait tout de même d'un à deux ans de dur labeur. C'est vers la fin des années 1920 qu'on introduisit les installations modernes de forage dit « rotary ». Dans ce système, un lourd tuyau transmet un mouvement de rotation au trépan de forage qui taille le roc. Un jet d'eau continu est injecté dans la tige de forage afin d'évacuer les déblais et de garder le trou de sonde ouvert.

Dans les premiers champs pétroliers, on ne tarda pas à découvrir que lorsque le débit du puits commence à diminuer, il faut recourir au pompage mécanique afin de maintenir la production des puits. On utilisa d'abord une chaudière et un moteur pour chaque pompe; ce système fut par la suite remplacé par un réseau d'arbres de transmission reliant un seul moteur à plusieurs puits, ce qui permit d'accroître la productivité.

Durant la seconde moitié du XIX^{e} siècle, les méthodes de raffinage connurent elles aussi des modifications importantes. Les premiers systèmes de distillation n'étaient que des variantes des alambics servant à la fabrication des boissons alcoolisées. Par la suite, le matériel fut expressément conçu en fonction du raffinage du pétrole. Le pétrole brut était contenu dans des appareils de distillation, en fer et de forme cylindrique, que l'on faisait chauffer; les vapeurs ainsi dégagées par le pétrole étaient recueillies et condensées en produits allant de l'essence et du naphta aux résidus goudronneux, plus lourds. Comme le produit le plus en demande était le pétrole lampant, les producteurs utilisaient principalement des procédés de raffinage donnant le plus de kérosène possible. L'essence était alors considérée comme inutile, voire dangereuse en raison de son inflammabilité élevée.

À la fin du XIX^{e} siècle, un événement allait avoir des répercussions importantes sur

l'industrie pétrolière. Après presque un siècle d'expérimentation avec le moteur à combustion interne, les premières automobiles firent leur apparition, ce qui suscita une demande, faible au début mais sans cesse croissante, pour cette essence jugée nuisible auparavant. De nombreuses automobiles ont été propulsées au début par différentes sources d'énergie, dont l'alcool, l'électricité et la vapeur, mais c'est l'essence qui s'imposa comme principal carburant au cours de la première décennie du XX^{e} siècle.

La première automobile canadienne fut fabriquée en 1898; dès 1910, plusieurs milliers d'automobiles sillonnaient les routes du pays. Au Canada, la première station-service vendant de l'essence ouvrit ses portes à Vancouver, en 1907. À mesure que les moteurs devenaient plus puissants, il fallut améliorer l'essence et les huiles lubrifiantes, ce qui donna naissance à l'industrie pétrolière moderne.

Au cours de la Première Guerre mondiale, le moteur à combustion interne fit son apparition sur les champs de bataille et y propulsa les chars d'assaut, les camions et les aéronefs, favorisant ainsi l'utilisation des véhicules fonctionnant aux carburants pétroliers. Après la guerre, la fabrication massive d'automobiles aux États-Unis abaissa les prix et mit l'automobile individuelle à la portée de tous. De plus, l'autobus et le camion commencèrent à concurrencer sérieusement le train pour le transport des biens et des personnes.

Parallèlement à ces progrès du transport, l'industrie pétrolière canadienne se déplaça vers l'Ouest, à la suite de la découverte de pétrole en Alberta, en 1888. La découverte du champ pétrolifère de Turner Valley, en 1914, fit de l'Alberta une importante région pétrolière. C'était le premier champ représentant un intérêt commercial, et cette découverte donna lieu à une ruée vers l'or noir. En 1921, on découvrait du pétrole à Norman Wells, dans les Territoires du Nord-Ouest. Les activités demeurèrent toutefois sporadiques dans l'Ouest canadien jusqu'en 1939 alors que l'exploration à grande échelle débuta, en raison principalement de la Seconde Guerre mondiale qui créa une demande pour une gamme variée de carburants et d'autres produits du pétrole, dont le caoutchouc synthétique. Le Canada continua à importer la majeure partie de son pétrole brut jusqu'à la découverte du champ pétrolifère Leduc par la Compagnie Pétrolière Impériale Ltée, en 1947. Cette découverte eut des répercussions considérables : presque du jour au lendemain, le Canada devint un important producteur mondial de pétrole.

Au cours des quatre dernières décennies, les provinces de l'Ouest ont fourni la presque totalité du pétrole canadien. Depuis les crises pétrolières des années 1970, ces ressources ont acquis une importance considérable, tant pour les provinces productrices que pour l'ensemble du Canada. Les travaux d'exploration et de mise en valeur qui ont lieu actuellement dans l'Arctique et au large des côtes accroîtront selon toute vraisemblance les réserves canadiennes de pétrole classique et garantiront ainsi notre sécurité énergétique. Le savoir-faire canadien en raffinage a augmenté au même rythme que les découvertes de pétrole brut, et grâce à un réseau national bien établi d'oléoducs et de raffineries, le pétrole brut est transformé en produits d'usage courant.

Aux premiers jours de l'industrie pétrolière canadienne, le pétrole était contenu dans des barils de bois qui étaient transportés sur des charrettes tirées par des chevaux.

TECHNIQUES DE PRODUCTION DES CARBURANTS PÉTROLIERS

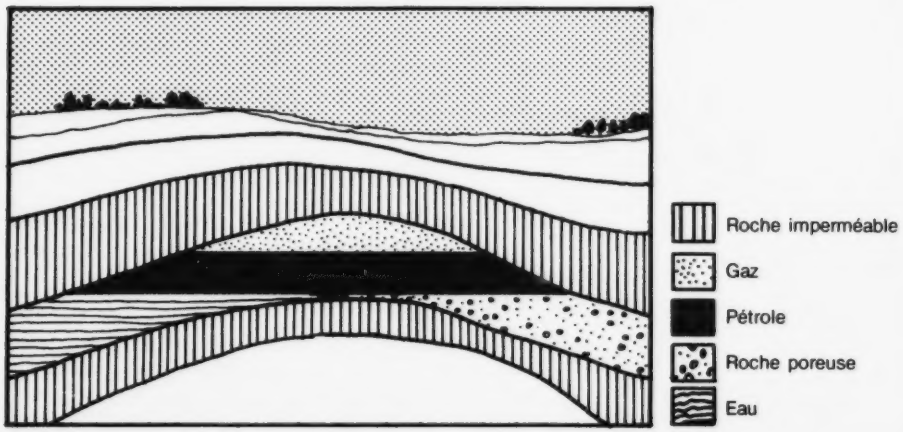
L'industrie pétrolière canadienne regroupe un grand nombre de sociétés qui oeuvre dans une foule de domaines. Les activités intégrées des grandes sociétés pétrolières couvrent l'ensemble de l'industrie, alors que les petites entreprises sont spécialisées dans un ou plusieurs domaines.

Ces activités comprennent notamment :

- l'exploration, la mise en valeur et l'exploitation des gisements de pétrole brut, principalement dans l'Ouest canadien, dans l'Arctique et au large de la côte est;
- le transport du pétrole brut jusqu'aux raffineries, par l'entremise d'un réseau d'oléoducs qui couvre le Canada;
- le raffinage du pétrole, c'est-à-dire le traitement du pétrole brut et sa transformation en divers produits;
- la distribution et la vente au détail des produits raffinés.

Dans l'ensemble, les Canadiens sont au courant des activités d'exploration et de mise en valeur des ressources pétrolières, grâce notamment aux reportages faits par les médias à ce sujet. Également, en tant que con-

L'anticlinal, un piège à pétrole. Une structure convexe vers le haut et comprenant plusieurs couches rocheuses est appelée anticlinal. Il est possible de recueillir le pétrole et le gaz contenu dans la roche poreuse, sous le dôme de roche imperméable. Le pétrole « flotte » au-dessus de l'eau qui est plus dense, alors que le gaz naturel, plus léger, se trouve au-dessus du pétrole.



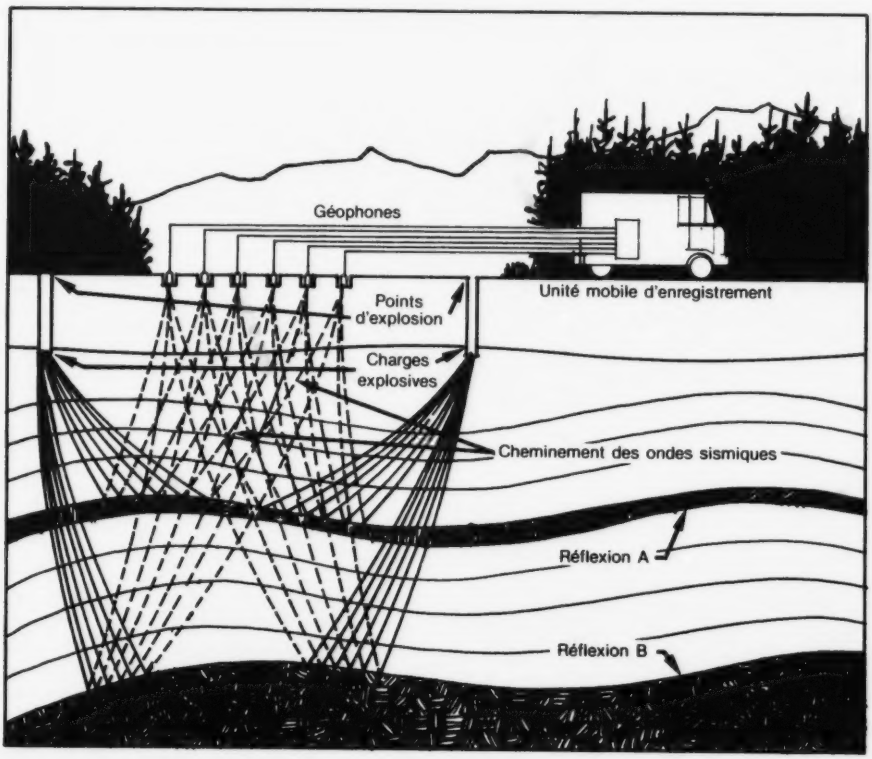
sommateurs, ils connaissent bien les activités de distribution et de vente au détail des produits raffinés. De toutes ces activités, la première et la dernière sont les mieux connues. Le raffinage du pétrole brut est toutefois encore auréolé de mystère pour la plupart des Canadiens, malgré notre dépendance quotidienne envers de nombreux produits tirés du pétrole. Les techniques de production et de raffinage du pétrole brut subissent aujourd'hui des modifications profondes, attribuables à plusieurs facteurs : épuisement des réserves de pétrole léger de haute qualité, utilisation croissante du pétrole lourd de moindre qualité, intérêt suscité par les pétroles synthétiques tirés des sables bitumineux et des autres ressources de remplacement.

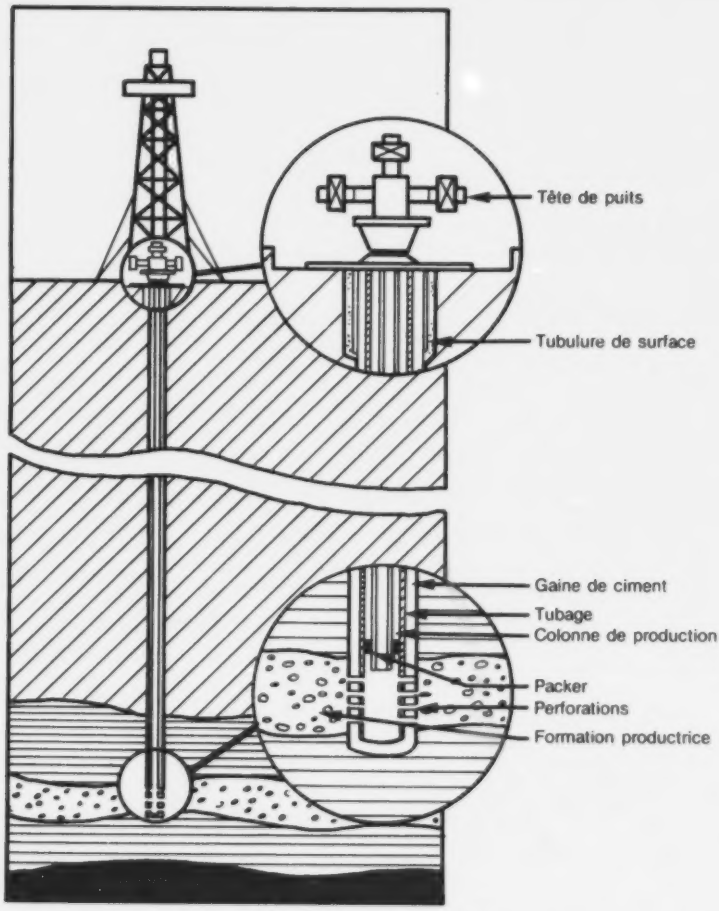
Ce chapitre décrit les techniques actuelles de production et de raffinage du pétrole brut.

Production et transport du pétrole brut

Le pétrole brut se trouve dans des formations rocheuses possédant des caractéristiques particulières. La roche pétrolifère est poreuse et elle est isolée de la surface par une couche de roche imperméable, ce qui crée un piège. Le schéma précédent illustre un type de piège appelé « anticlinal ». Les plis présents dans

La prospection dite « sismique réflexion » est une technique d'exploration utile dans les régions où les sédiments sont composés de couches alternées de composition et d'épaisseur différentes. La technique la plus courante consiste à faire exploser des petites charges de dynamite dans des trous de faible diamètre. Les explosions créent des ondes de choc qui sont réfléchies par la formation souterraine, détectées par les géophones et enregistrées par l'appareillage à bord de l'unité mobile. On compare le temps pris par les ondes pour faire le trajet aller-retour jusqu'aux différentes couches ainsi que l'intensité des ondes de retour afin d'obtenir une « image » du sous-sol.





Un puits « complété ». La colonne de production, en acier tubulaire, est cimentée afin de tenir en place le puits de forage et permettre une production efficace. Le tube de production, en acier et de diamètre inférieur a celui de la colonne, est suspendu à la tête de puits. Les parois de la colonne et de la gaine de ciment sont perforées afin de faciliter l'écoulement du pétrole dans le puits de forage. Le débit du puits est réglé par un ensemble de duses et de soupapes contenu en tête du puits.

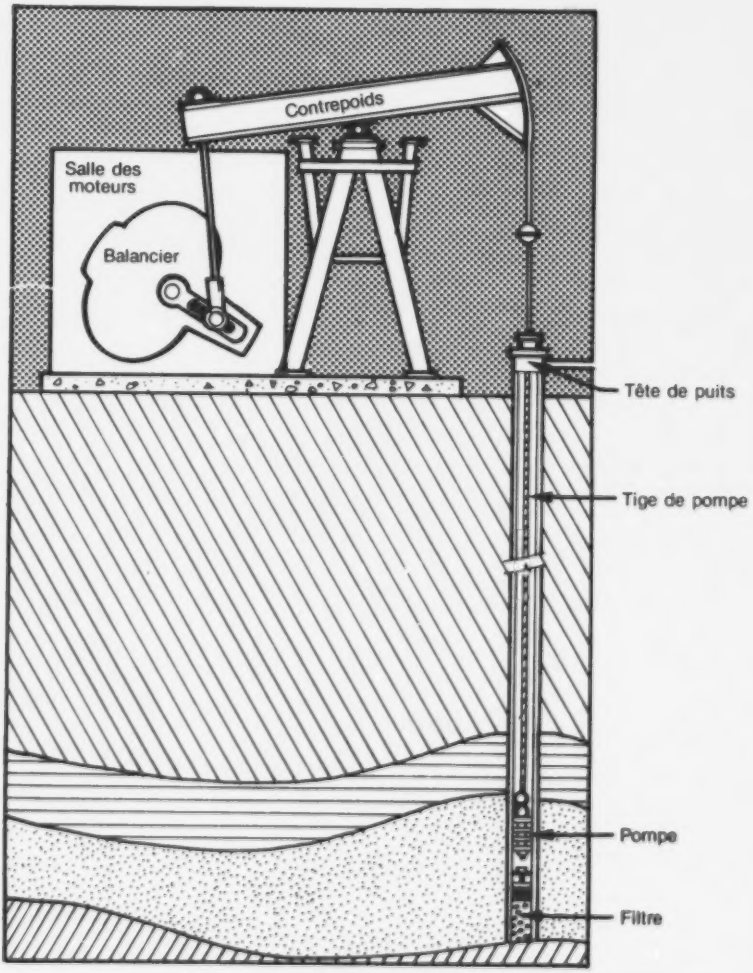
la croûte terrestre créent de telles formations rocheuses. Les travaux d'exploration pétrolière visent précisément à trouver ces formations, lesquelles peuvent contenir du pétrole. L'industrie pétrolière utilise des outils perfectionnés et fait appel à toutes les connaissances de la géologie pétrolière.

Lorsqu'on trouve une formation rocheuse pouvant contenir du pétrole, les forages exploratoires permettent de déterminer s'il y a du gaz ou du pétrole. Selon la profondeur qu'ils envisagent d'atteindre, les spécialistes en forage utiliseront des installations de forage de tailles différentes. Comme le forage coûte cher, on essaie d'utiliser le matériel le plus économique et le plus approprié. Aujourd'hui, le forage se fait à l'aide de machines complexes capables de percer rapidement et avec précision le socle rocheux. Chaque année, les sociétés canadiennes forent des milliers de

puits pouvant atteindre de plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres de profondeur.

La phase suivante est celle de l'exploitation de la roche réservoir. En raison des pressions naturelles qui s'exercent au sein de la terre, il arrive souvent que le pétrole s'écoule naturellement dans la tubulure du puits. En effet, le pétrole est poussé vers la surface par le gaz naturel en dilatation contenu dans le pétrole et dans la roche réservoir. Cependant, à mesure que le pétrole est extrait, la pression à l'intérieur de la roche poreuse diminue et il faut recourir au pompage mécanique. La pompe « sauterelle » illustrée ci-dessous est utilisée à cette fin et fait partie du paysage des régions pétrolières.

Une pompe sauterelle. Le balancier est relié à un moteur à une extrémité, et à la tige de pompe à l'autre. Le moteur actionne le balancier en un mouvement de va-et-vient. Ce mouvement est transmis à la tige de pompe qui monte et descend. Le poids de la longue tige de pompe est équilibré par un gros contrepoids.



Même avec le pompage mécanique, on peut retirer seulement un tiers environ du pétrole contenu dans la roche réservoir. Le reste demeure emprisonné dans la structure poreuse de la roche. Afin d'accroître le rendement, on met actuellement au point des techniques dites de récupération assistée du pétrole.

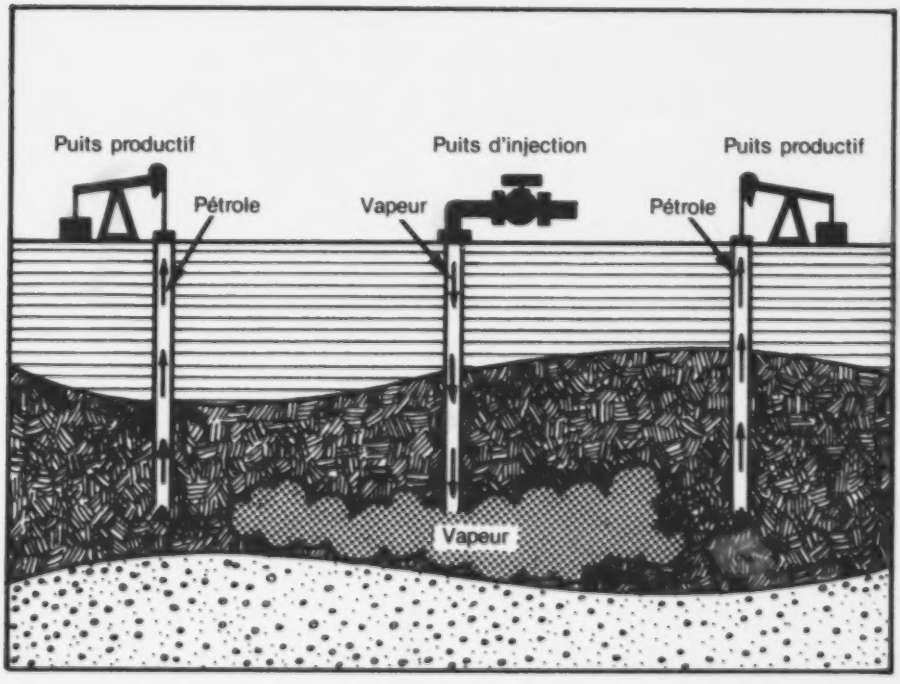
La plus simple de ces techniques consiste à injecter de l'eau dans la roche afin de compenser la perte de pression résultant de l'extraction du pétrole. Il est possible aussi d'injecter du gaz, des solvants chimiques, des détergents et de la vapeur afin d'améliorer l'écoulement du pétrole dans la roche réservoir. Une technique plus complexe fait appel à la combustion d'une partie du pétrole dans les strates rocheuses afin de chauffer le pétrole et le rendre plus fluide s'il est très visqueux. Le schéma ci-dessous illustre une technique particulière de récupération assistée du pétrole.

Lorsque le pétrole est pompé à la surface, il doit être acheminé vers les lieux de traitement. Des installations de stockage permettent d'emmagasiner le pétrole qui est par la suite transporté par camion ou par oléoduc jusqu'aux raffineries. La majeure partie du pétrole produit dans l'Ouest canadien est transporté par des oléoducs de grand diamètre. Ces oléoducs, enfouis dans le sol, ont souvent plus d'un mètre de diamètre et forment un réseau qui s'étend de la Colombie-Britannique au Québec. Plus de 160 000 km d'oléoducs relient les régions productrices de l'Ouest canadien aux centres de raffinage. Lorsque la production de pétrole débutera dans l'est du pays, il sera peut-être nécessaire de construire des oléducs dans cette région.

Le raffinage

Le raffinage est l'aspect le moins connu de la production de pétrole classique. Les raffineries sont des usines complexes utilisant de

Système de récupération par injection. La vapeur injectée dans une roche-réservoir réchauffe le pétrole restant afin de le fluidifier et d'en faciliter l'écoulement. L'ajout de vapeur permet aussi de maintenir la pression dans la roche-réservoir afin de pousser le pétrole dans la tubulure du puits.



Des oléoducs enfouis sous terre transportent le pétrole albertain vers l'ouest jusqu'au Pacifique, et vers l'est jusqu'à Montréal.

nombreux procédés intimement liés. C'est à la raffinerie que le pétrole brut est transformé en produits pétroliers d'usage courant.

Afin de bien saisir la nature complexe du raffinage, il est nécessaire d'étudier la composition du pétrole brut. Il ne s'agit pas d'une substance homogène, mais plutôt d'un mélange de nombreux constituants différents. La composition et la qualité des pétroles bruts diffèrent d'un gisement à l'autre, et d'un pétrole à l'autre.

Cette publication porte sur le pétrole brut classique, qui se présente sous deux formes : légère et lourde. On n'y traite cependant pas des pétroles synthétiques fabriqués à partir des sables bitumineux et d'autres ressources de remplacement.

Qu'est-ce que le pétrole brut?

À l'état naturel, le pétrole brut n'est pas utilisable comme carburant. Il s'agit plutôt d'un mélange de divers composés d'hydrogène et de carbone, d'où le terme « hydrocarbure » utilisé pour désigner ces substances. De plus, le pétrole lourd contient de petites quantités d'impuretés : soufre, divers métaux, sel, eau et particules abrasives en suspension. Ces impuretés sont enlevées lors du raffinage.

Les hydrocarbures qui composent le pétrole brut sont très variés au point de vue dimension et structure moléculaires. Les hydrocarbures légers sont composés de petites molécules simples, alors que les hydrocarbures lourds sont constitués de grosses molécules à structure complexe. Dans chaque cas, les

atomes d'hydrogène et de carbone sont reliés entre eux de façon bien précise. Il importe au raffineur de connaître précisément le nombre et l'arrangement des atomes d'hydrogène et de carbone dans une molécule d'hydrocarbure. Le raffinage consiste à séparer les divers groupes d'hydrocarbures et, dans de nombreux cas, à en modifier la structure moléculaire et à les mélanger afin d'obtenir les produits désirés.

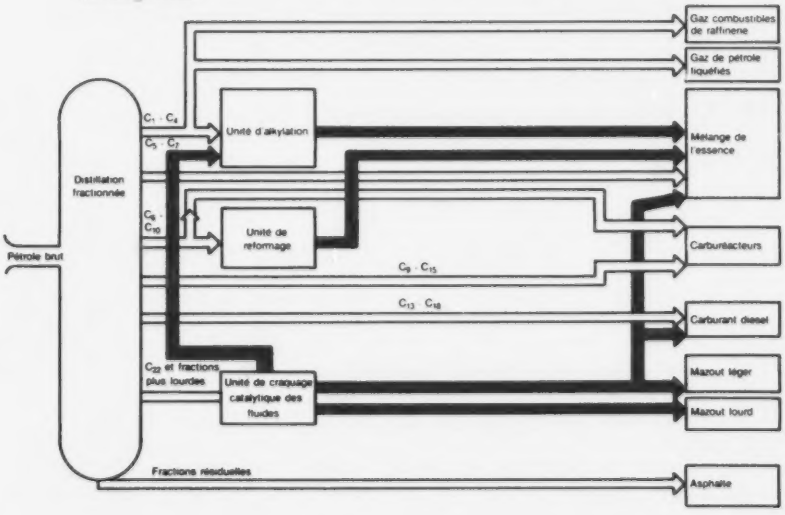
La composition d'un hydrocarbure peut être exprimée de façon à indiquer le nombre d'atomes de carbone qu'il contient par rapport au nombre d'atomes d'hydrogène. Par exemple, la formule chimique du méthane, le principal constituant du gaz naturel, est CH_4, ce qui signifie que chaque molécule de méthane contient un atome de carbone et quatre atomes d'hydrogène. Une méthode d'identification plus simple consiste à classer les hydrocarbures selon leur nombre d'atomes de carbone. Les hydrocarbures compris dans la série C_1 à C_4 sont des gaz, comme le méthane, le propane et le butane, et les hydrocarbures appartenant aux groupes C_{22} et supérieurs sont des pétroles lourds.

Les procédés de raffinage visent d'abord à isoler des composés particuliers ou des groupes de composés. Divers procédés sont par la suite utilisés afin de transformer les composés les moins utiles en hydrocarbures utiles, et ce, en quantité suffisante. Les composés complexes et lourds peuvent être scindés en composés plus légers et plus petits. De la même manière, il est possible de former des composés lourds en regroupant des composés très légers.

Les composés d'hydrocarbure qui constituent le pétrole brut ont des caractéristiques particulières qui influent fortement sur le choix des procédés de raffinage. La plus importante de ces caractéristiques est le point d'ébullition, c'est-à-dire la température à laquelle une substance passe de l'état liquide à l'état gazeux (et vice versa). Plus un composé est lourd, plus son point d'ébullition est élevé. Le tableau ci-dessous illustre ce lien.

Hydrocarbure	Structure chimique	Point d'ébullition
Propane	3 carbones + 8 hydrogènes C_3H_8	−42°C
Pentane	5 carbones + 12 hydrogènes C_5H_{12}	+29,2°C
Cétane	16 carbones + 34 hydrogènes $C_{16}H_{34}$	+288°C

Une raffinerie moderne utilise de nombreux procédés chimiques afin de produire une quantité optimale de gaz, de carburants, de mazout et d'asphalte.



Le diagramme ci-contre illustre de façon très sommaire l'emploi conjoint de divers procédés de raffinage. Ce diagramme est incomplet, car de nombreux procédés en sont absents. Chaque raffinerie utilise des procédés qui lui sont propres. En outre, le diagramme omet les divers procédés de nettoyage, c'est-à-dire les procédés qui visent à enlever les impuretés comme le soufre.

Les principaux procédés de raffinage

Le raffinage du pétrole brut fait appel à un certain nombre de procédés qui, pris dans leur totalité, permettent de transformer presque tous les constituants du pétrole brut en produits pétroliers vendables. Les sections suivantes décrivent les plus importants de ces procédés.

La distillation fractionnée

La distillation est le procédé de base qui permet de séparer les divers composés d'hydrocarbure; ce procédé met à profit les points d'ébullition différents des hydrocarbures afin de séparer des groupes de composés en fractions de raffinage.

On peut aisément faire chez soi une expérience de distillation : il suffit de faire bouillir un mélange d'eau et d'huile végétale sur une cuisinière. L'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur) et bout en premier, laissant l'huile végétale au fond de la casserole. L'eau et l'huile végétale sont toutes deux des fractions, c'est-à-dire des constituants du mélange original.

La seconde partie du procédé de distillation consiste à récupérer les fractions qui se sont transformées en gaz. On utilise un mécanisme exactement inverse du premier : si le gaz qui s'est formé à partir du pétrole liquide est refroidi à une température inférieure à son point d'ébullition, il se condensera, c'est-à-dire qu'il retournera à l'état liquide.

La distillation fractionnée utilise ces deux mécanismes afin de séparer le pétrole brut en divers groupes de composés. Cette opération se déroule dans une colonne de distillation, grande tour dans laquelle on introduit du pétrole brut chauffé. La colonne de distillation permet d'isoler de nombreuses fractions différentes en une seule opération et elle fonctionne sans arrêt. Le pétrole brut entre à une extrémité et une série continue de produits de distillation sort par l'autre.

C'est dans la partie supérieure de la colonne que la température est la plus basse. Le pétrole brut chauffé entre dans la colonne sous forme d'un mélange de liquides et de gaz. La partie liquide, qui comprend les composés les plus lourds, coule vers le bas. Les gaz montent dans la colonne à travers une série de plateaux métalliques perforés, couverts d'une pellicule de liquide condensé. Chaque hydrocarbure présent dans le mélange gazeux se refroidit en montant et lorsqu'il atteint son point d'ébullition, il retourne à l'état liquide en se condensant. Les composés les plus légers demeurent à l'état gazeux et continuent à monter vers le haut de la colonne jusqu'à ce qu'ils atteignent leur point d'ébullition. Les composés très légers ne se condensent pas et sont retirés à l'extrémité supérieure de la colonne.

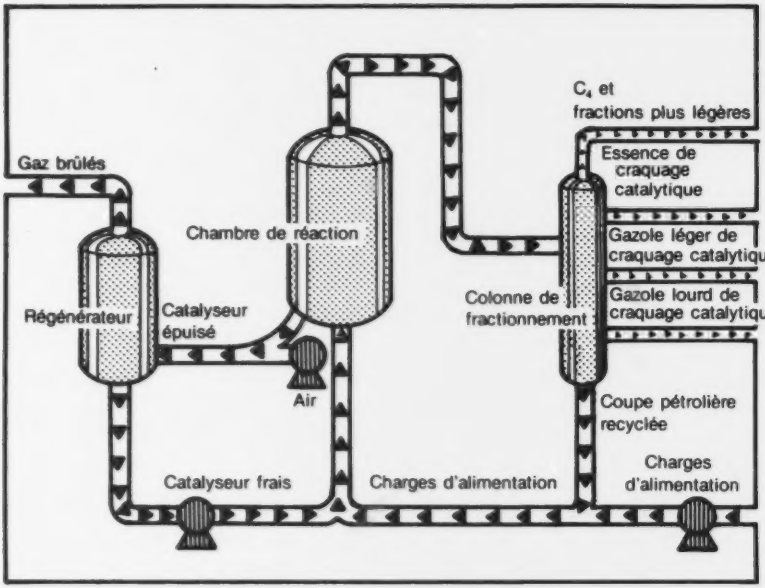
Les liquides sont retirés de la colonne à des températures précises, connues sous le nom de points de fractionnement; à ces températures, les divers hydrocarbures sont séparés en séries de produits. Comme le montre l'illustration, c'est à cette étape que des produits pétroliers reconnaissables émergent du procédé de raffinage.

La distillation est suivie d'un certain nombre de procédés visant à tirer d'autres produits utiles du pétrole brut. Ces procédés supplémentaires sont nécessaires pour un certain nombre de raisons. Tout d'abord, certains produits de distillation ne sont pas vraiment utilisables. Les fractions plus lourdes, comprenant les hydrocarbures à points d'ébullition très élevés, ont la consistance du bitume et ne peuvent pas être employées comme combustibles. En outre, la proportion des diverses fractions distillables ne correspond pas nécessairement aux besoins du marché. L'essence est un important produit pétrolier, mais la distillation donne seulement un rendement de 10 à 15 % en essence par unité de volume.

Les trois principaux procédés supplémentaires, examinés dans les pages suivantes, sont le craquage, le reformage catalytique et l'alkylation. Examinons d'abord le craquage.

Le craquage

Comme le laisse entendre ce terme, le craquage est un procédé qui consiste à scinder les molécules composant les hydrocar-



Une unité de craquage catalytique. Les fractions d'hydrocarbures lourds (appelées « charges d'alimentation ») sont pompées dans une unité de chauffage, mélangées à un catalyseur et introduites dans la chambre de réaction. Le catalyseur et les hydrocarbures sont ensuite séparés et retirés de la chambre. Les hydrocarbures passent alors par une colonne de fractionnement où ils sont séparés en gaz, en essence, en gazole léger et moyen, ainsi qu'en pétrole résiduel aussi appelé coupe pétrolière recyclée. Cette dernière est mélangée aux nouvelles charges d'alimentation destinées au craquage et subit de nouveau la réaction.

Le catalyseur devient inactif (épuisé) à mesure qu'il est recouvert de coke produit par les hydrocarbures soumis au craquage. On mélange le catalyseur à de l'air chaud afin de le régénérer. Le coke s'oxyde en oxyde de carbone et en gaz carbonique, lesquels sont acheminés vers un échangeur thermique et relâchés dans l'atmosphère. Le catalyseur fraîchement régénéré est de nouveau pompé afin d'être mélangé aux charges d'alimentation qui sont dirigées vers la chambre de réaction.

bures. Ce procédé vise avant tout à convertir au maximum les fractions lourdes en fractions légères et moyennes, lesquelles sont nécessaires à la fabrication des carburants. Le craquage a lieu lorsque les fractions lourdes obtenues par distillation sont chauffées à haute température : 500 °C ou plus.

Le craquage peut être amorcé à l'aide de catalyseurs, lesquels sont des substances favorisant le craquage à des températures plus faibles. Certains métaux, en particulier le platine, agissent de cette façon sur les hydrocarbures. Le catalyseur ne fait pas partie des produits de craquage; il peut donc être régénéré s'il y a lieu et être utilisé de nouveau. En plus de favoriser le craquage à des températures plus basses, les catalyseurs présentent d'autres intérêts pour les raffineurs, car ils modifient les charges de départ de façon à accroître la production d'essence. Un perfectionnement récent du procédé de craquage consiste à ajouter de l'hydrogène pendant la réaction. Cet hydrogène d'appoint réagit avec les charges de départ riches en carbone et accroît ainsi la production de carburants légers. Ce procédé, appelé hydrocraquage, prend une impor-

tance accrue à mesure qu'augmente l'utilisation des pétroles bruts lourds et riches en carbone.

Dans toutes les techniques de craquage, les matières premières de craquage passent par une colonne de fractionnement qui, comme la colonne de distillation, sépare les diverses fractions selon leurs points de condensation.

Les techniques de craquage sont capitales pour le raffinage, car elle permettent au raffineur de produire les quantités voulues des carburants les plus en demande — l'essence et le carburant diesel.

Le reformage catalytique

Le reformage catalytique est un autre procédé de raffinage important pour la production d'essence. À la différence du craquage, le reformage utilise et donne des produits ayant à peu près le même poids. Le reformage catalytique sert à améliorer la qualité des fractions d'essence et non à produire des fractions plus lourdes ou plus légères. Ce procédé vise à accroître l'indice d'octane de l'essence employée dans les moteurs modernes. Le chapitre « Technologie des moteurs et qualité des carburants » traite de l'importance de l'indice d'octane.

La charge d'alimentation soumise au reformage catalytique est en grande partie composée de naphta, une fraction similaire à l'essence mais n'en possédant pas les nombreuses caractéristiques. Dans le reformage catalytique, un catalyseur modifie la structure moléculaire des charges d'alimentation et donne un produit à indice d'octane élevé appelé « reformat ». Cette fraction entre dans la composition de l'essence.

L'alkylation

La distillation et le craquage produisent une forte quantité de fractions légères constituées d'hydrocarbures qui sont en fait trop légers pour entrer directement dans la composition des carburants. L'alkylation permet de regrouper ces fractions et de former ainsi des hydrocarbures plus lourds, utiles pour la fabrication de l'essence.

Le produit principal de l'alkylation est l'« alkylat ». C'est un produit hautement prisé pour le mélange de l'essence, en raison de son indice d'octane élevé, caractéristique désirable dans l'essence.

Dans le procédé d'alkylation, on emploie aussi un catalyseur afin d'amorcer les réactions entre les hydrocarbures. Le catalyseur employé est un acide, habituellement de l'acide sulfurique ou de l'acide fluorhydrique. Les gaz obtenus par craquage sont mélangés à l'acide et placés dans une chambre de réaction dans laquelle les substances sont mélangées et leurs caractéristiques chimiques sont modifiées. Dans ce procédé, de nombreux hydrocarbures légers s'unissent afin de former des hydrocarbures plus complexes et plus lourds. Après la réaction, l'acide et les hydrocarbures sont séparés et l'on neutralise l'acide résiduel présent dans les hydrocarbures. Ces derniers sont ensuite dirigés vers des colonnes de fractionnement où les diverses fractions sont séparées.

Une partie des fractions gazeuses, notamment le propane et le butane, passent à travers ce procédé sans subir aucune modification. Ces gaz sont recueillis à la sortie pour être utilisés dans la raffinerie ou être vendus comme combustibles gazeux.

Équilibre de la production des raffineries

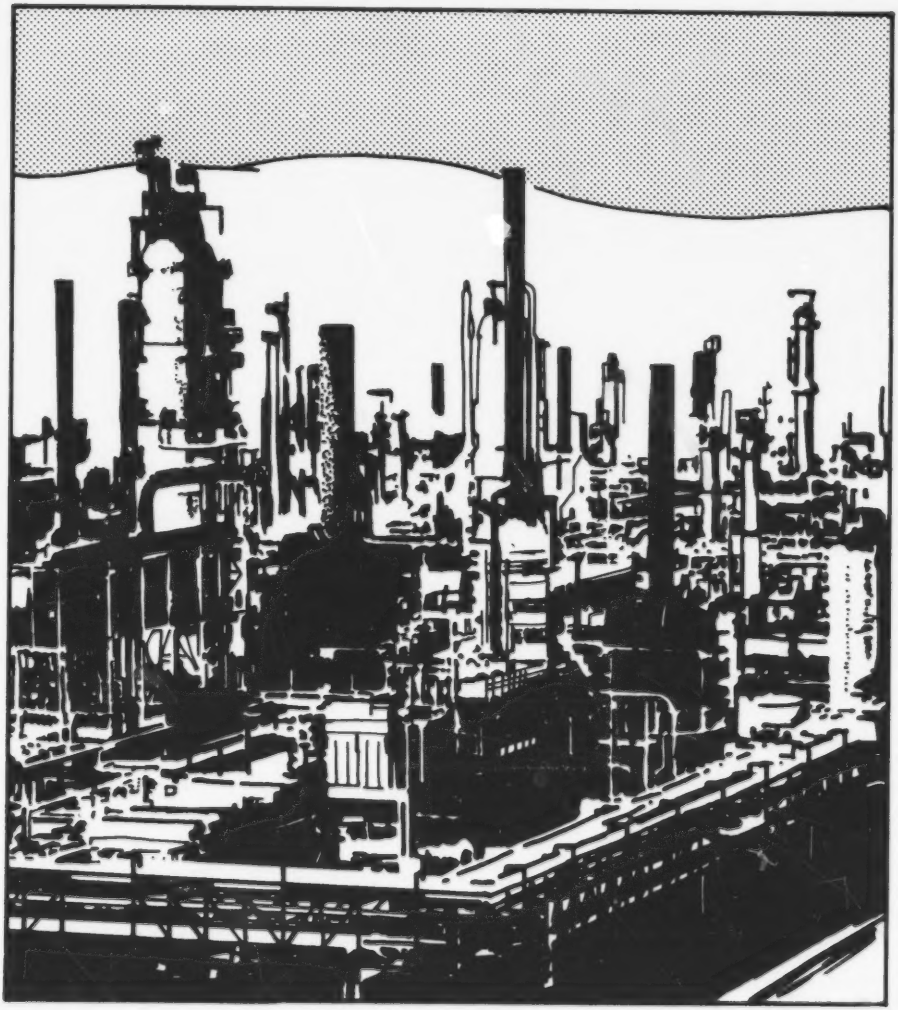
Les procédés décrits ci-dessus ne sont pas les seuls qui sont utilisés dans une raffinerie moderne. Plusieurs autres procédés sont nécessaires afin de transformer, brûler ou concentrer les nombreuses fractions tirées du pétrole brut. Toutes ces fractions doivent être converties en produits répondant à la demande, dans les quantités et qualités voulues et sans laisser de résidus. Une grande raffinerie traite chaque jour des milliers de mètres cubes de pétrole brut; il importe donc d'équilibrer la production finale. Les raffineurs doivent tenir compte de plusieurs variables, en particulier :

- Fluctuation de la qualité du pétrole brut. Des pétroles bruts de qualité différente contiennent des concentrations différentes de fractions initiales. Cette fluctuation a une incidence sur les volumes de produits donnés par chaque procédé et sur la capacité du raffineur de répondre à la demande.
- Fluctuation de la demande. La demande et la qualité de certains produits fluctuent selon les saisons. Le raffineur doit tenir compte de ces variations. La demande d'essence est habituellement plus élevée au cours de l'été, car les

Canadiens sillonnent davantage les routes lors des vacances estivales, alors que la demande de mazout augmente en hiver. En outre, les progrès de la technologie automobile influent fortement sur les caractéristiques des carburants; l'élimination graduelle du plomb dans l'essence en est un exemple. Certaines caractéristiques sont dictées par les règlements gouvernementaux; d'autres sont fixées par l'industrie elle-même afin d'assurer une qualité uniforme de l'essence.

Équilibrer la production en tenant compte de tous ces facteurs est une tâche complexe. À cette fin, les sociétés pétrolières emploient dans leurs raffineries modernes des spécialistes hautement compétents et des systèmes perfectionnés de contrôle automatisé.

Les raffineries modernes sont des usines complexes et hautement perfectionnées.



TECHNOLOGIE DES MOTEURS ET QUALITÉ DES CARBURANTS

La fabrication des mélanges carburants représente plus de la moitié de la production des raffineries canadiennes. La production de ces carburants est également un véritable casse-tête chimique pour le raffineur. Afin de bien saisir pourquoi il faut mélanger les carburants et comment ils le sont, il importe de comprendre le fonctionnement des moteurs qui utilisent ces carburants. La technologie des moteurs et le mélange des carburants sont étroitement liés. Les carburants doivent changer si les moteurs changent.

La section suivante est divisée en trois parties, chacune décrivant l'un des trois principaux types de moteurs et les procédés de mélange qui donnent les carburants appropriés. Ce sont tous des moteurs à combustion interne, c'est-à-dire que la combustion du carburant a lieu à l'intérieur du moteur plutôt qu'à l'extérieur, comme dans le cas d'une chaudière à vapeur.

Le moteur à essence

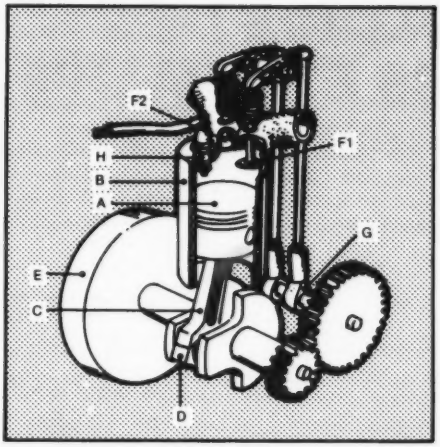
Les moteurs à essence, aussi appelés moteur à allumage par étincelle, contiennent une bougie d'allumage dans chaque cylindre. C'est cette bougie qui enflamme le carburant. La présence de la bougie est capitale, car elle influence grandement la façon dont l'essence est mélangé. Avant d'aborder le mélange du carburant, il convient de revoir le fonctionnement du moteur à essence.

Tous les moteurs à essence contiennent des cylindres dans lesquels la combustion du carburant a lieu. Comme l'indique l'illustration ci-jointe, un certain nombre de pièces sont logées dans chaque cylindre. Au haut du cylindre se trouvent deux soupapes et la bougie d'allumage. L'une des soupapes est reliée au carburateur, lequel mélange l'essence à l'air et vaporise le mélange combustible. C'est la soupape d'admission. L'autre soupape, la soupape d'échappement, est reliée au système d'échappement. Les gaz produits par la combustion sont expulsés hors du cylindre et passent par cette soupape, d'où ils sont dirigés vers le tuyau d'échappement et le silencieux.

Le piston épouse étroitement la paroi intérieure du cylindre, sous les soupapes. Il peut se déplacer librement vers le haut et vers le bas; les segments du piston (de minces couronnes de métal souple engagées dans le piston) assurent l'étanchéité du couple piston-cylindre, à l'aide d'une mince pellicule d'huile lubrifiante présente sur la paroi du cylindre. Cette pellicule d'huile réduit la friction qui autrement causerait la surchauffe des pièces métalliques.

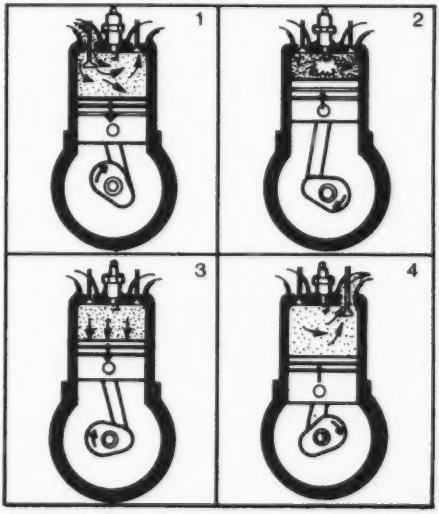
Une bielle relie le piston au vilebrequin. Comme l'indique l'illustration, le vilebrequin est muni d'un certain nombre de lobes excentriques, appelés manetons, qui sont reliés aux bielles. La bielle et le maneton transmettent le déplacement alternatif du piston au vilebrequin qui tourne autour de son axe. Cette force de rotation est à son tour transmise aux roues du véhicule. Même si les engrenages de la transmission modifient le rapport (nombre de tours du vilebrequin)/(nombre de tours des roues) afin de changer la vitesse du véhicule, le moteur fonctionne toujours de la même manière, peu importe la vitesse du véhicule.

La combustion a lieu dans la chambre de combustion, au sommet du cylindre. Lorsque l'essence est vaporisée et mélangée à l'air, elle devient hautement combustible. Si ce mélange est allumé, il brûle et se dilate fortement en très peu de temps. C'est la force résultant de cette dilatation brusque à l'intérieur du cylindre qui actionne le moteur. L'illustration suivante indique la façon dont le moteur canalise l'énergie dégagée par la combustion du mélange air-essence.



Un moteur à essence. Le piston (A) se déplace vers le haut et vers le bas dans le cylindre (B). Une bielle (C) relie le piston au vilebrequin (D) qui transforme le déplacement alternatif du piston en un mouvement circulaire. Le vilebrequin entraîne un lourd volant (E) métallique. Le cylindre est muni de deux soupapes : une soupape d'admission (F1) et une soupape d'échappement (F2). L'ouverture et la fermeture des ces soupapes sont assurées par des petites pièces de métal lisse appelées cames qui sont montées sur un arbre à cames (G). Les arbres à cames sont entraînés par le vilebrequin de façon que chaque came ouvre sa soupape une fois au cours du cycle à quatre temps du moteur. La bougie d'allumage (H) fournit l'étincelle qui enflamme au moment voulu le mélange air-essence.

Cycle de combustion dans un moteur à essence.



Lorsque le moteur tourne, une série d'événements prend place dans chaque cylindre. Pendant la course descendante du piston, la soupape d'admission s'ouvre et le piston aspire le mélange air-essence fourni par le carburateur (1). Lorsque le piston amorce sa course ascendante, la soupape d'admission se ferme, ce qui obture le cylindre. Le mélange gazeux est comprimé et, quand le piston termine sa course, la bougie enflamme le mélange (2). La dilatation rapide des gaz en combustion chasse le piston vers le bas (3) et la bielle transmet cette impulsion au vilebrequin. Le piston remonte dans le cylindre, la soupape d'échappement s'ouvre et les gaz de combustion sont expulsés hors du cylindre (4). Les quatre temps de ce cycle recommencent de nouveau : admission, compression, combustion et échappement. Le piston monte et redescend deux fois au cours d'un cycle.

Les moteurs polycylindriques sont conçus de façon que les explosions n'aient pas lieu simultanément dans tous les cylindres. Mais comme tous les pistons sont reliés au vilebrequin, il y a toujours au moins un piston qui est dans le temps moteur (le troisième temps du cycle, la combustion) et qui fournit la force requise pour déplacer les autres pistons qui ne sont pas dans le temps moteur. Plus il y a de cylindres dans un moteur, plus le moteur tourne « rond ». Le régime (c'est-à-dire le nombre de tours par minute) élevé que peuvent atteindre les petits moteurs pallie leur nombre réduit de cylindres.

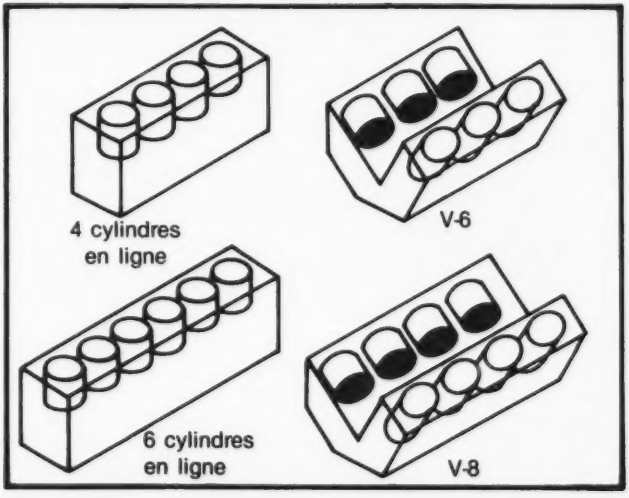
Mélange de l'essence

Pour bien fonctionner, les moteurs à essence doivent brûler un carburant aux caractéristiques bien définies. D'abord et avant tout, le carburant doit pouvoir former avec l'air des vapeurs inflammables et, en second lieu, il ne doit pas s'allumer avant que la bougie n'ait délivré son étincelle. La première caractéristique dépend de la pression de vapeur du carburant, et la seconde de son indice d'octane.

La pression de vapeur

La pression de vapeur de l'essence indique son aptitude à former les gaz volatils nécessaires à la combustion. Le mécanisme de la pression de vapeur importe peu ici; ce qu'il importe de savoir par contre, c'est que si la pression de vapeur est trop faible ou trop élevée, le moteur ne peut pas fonctionner.

Dans un moteur polycylindrique, les cylindres peuvent être placés en ligne le long d'un même axe, ou en « V ». Dans les moteurs en « V », les deux rangées de cylindres forment un angle entre elles. Cette disposition des cylindres autorise un fonctionnement plus doux du moteur. Également, le moteur est plus court et occupe un volume moindre, car les cylindres sont rapprochés; ainsi, le mélange air-essence provenant du carburateur peut-il être distribué plus efficacement dans les cylindres.



Les conditions climatiques viennent en outre brouiller les cartes : l'essence qui se vaporise bien sous les chaudes températures de l'été ne se vaporise pas assez durant l'hiver. De la même manière, l'essence d'hiver se vaporise trop facilement en été, ce qui peut nuire aux autres organes du moteur, telle la pompe à essence. Les raffineurs doivent donc constamment modifier la pression de vapeur de leurs essences selon les saisons.

La meilleure façon de modifier la pression de vapeur de l'essence consiste à varier la quantité des hydrocarbures volatils légers dans le mélange. Le butane, ce combustible que les fumeurs emploient dans leurs briquets, est utilisé à cette fin, car il possède une pression de vapeur élevée et devient gazeux à basse température. En hiver, on augmente la quantité de butane afin d'accroître la pression de vapeur. En été, le contenu en butane est réduit. En faisant le plein, vous avez sûrement remarqué la vapeur odoyante qui sort du bec de remplissage; c'est le butane qui s'évapore de l'essence que vous versez dans votre réservoir.

L'indice d'octane

Pour qu'un moteur puisse bien fonctionner, le mélange air-essence introduit dans le cylindre ne doit pas s'enflammer avant que la bougie n'ait délivré son étincelle. S'il y a allumage prématuré, l'énergie fournie par la combustion commencera à chasser le piston vers le bas alors qu'il est en train de monter dans le cylindre. L'allumage prématuré provoque le cognement du moteur, et le moteur peut aussi continuer à tourner après que l'allumage soit coupé. En plus du fonctionnement erratique du moteur, le cognement impose une forte tension aux autres organes du moteur, tels le vilebrequin et les bielles, d'où une usure excessive de ces pièces.

Afin d'empêcher le cognement, il faut mélanger avec soin les divers constituants de l'essence. Comme il a été dit précédemment, l'essence forme avec l'air un mélange combustible qui est aspiré dans les cylindres chauds du moteur et est ensuite comprimé, ce qui en accroît la température. La propriété antidétonante d'une essence est donnée par son indice d'octane; plus l'indice d'octane est élevé, moins le moteur aura tendance à cogner. Les supercarburants ont le plus haut indice d'octane. Si un moteur cogne, il est conseillé d'utiliser une essence à indice d'octane plus élevé.

L'indice d'octane d'une essence particulière est établi par rapport à un carburant de référence lors d'essais méticuleux. Le carburant de référence contient de l'isooctane, un hydrocarbure antidétonant. On varie la proportion d'isooctane jusqu'à ce que le carburant de référence ait les mêmes caractéristiques d'allumage que l'essence. La proportion d'isooctane dans le carburant de référence indique alors l'indice d'octane de l'essence. Plus l'indice d'octane est élevé, plus il faut ajouter de l'isooctane au carburant de référence afin d'obtenir les mêmes caractéristiques d'allumage que l'essence.

Le raffineur doit veiller à ce que chaque mélange d'essence qu'il produit respecte les normes relatives à l'indice d'octane, normes établies conjointement par les fabricants de moteurs, l'industrie pétrolière et les agences gouvernementales. Comme l'indique le tableau suivant, les diverses fractions entrant dans la composition de l'essence ont des indices d'octane différents.

Fraction	Indice d'octane typique
Alkylat	97,3
Essence de première distillation	66,4
Reformat	94,0
Essence de craquage catalytique	92,3
Butane	93,0

L'essence ordinaire contient des composés de plomb qui jouent le rôle d'antidétonants : ils augmentent l'indice d'octane des constituants du mélange sans en altérer les autres propriétés, telle la pression de vapeur. Si les composés de plomb facilitent le travail du raffineur, ils peuvent toutefois être très dangereux pour la santé; d'ailleurs, les préoccupations publiques à l'égard de l'environnement ont amené la réduction graduelle des concentrations de plomb autorisées dans l'essence.

Pour obtenir des indices d'octane similaires à ce que donnent les composés de plomb, il faut ajouter une plus grande proportion d'antidétonants dans l'essence sans plomb. Cette exigence entrave le travail du raffineur et augmente les coûts de production. Comme l'indique le bref tableau ci-dessus, les principaux composants de l'essence à indice d'octane élevé sont ceux qui sont obtenus par des procédés de raffinage relativement complexes ou sévères, tels l'alkylation et le reformage

catalytique. Bien que le butane permette d'augmenter l'indice d'octane, il ne constitue pas un composant important de l'essence, pour les raisons indiquées précédemment. Par conséquent, la quantité de butane qui peut être utilisée dans un mélange d'essence est limitée.

Également, les fractions utilisables pour accroître l'indice d'octane présentent des caractéristiques fâcheuses. Si le raffineur tente de modifier les procédés de raffinage afin d'accroître l'indice d'octane d'une fraction donnée, la production de cette fraction diminue habituellement. Le reformage catalytique est un bon exemple. Le principal produit de ce procédé est une fraction à indice d'octane élevé, le reformat. On peut accroître l'indice d'octane du reformat au cours de sa production, mais en payant le prix : si l'on augmente l'indice d'octane du reformat de 90 à 100, la production de cette fraction diminue de 7 à 9 %. Il s'ensuit que les procédés donnant des fractions à indice d'octane élevé doivent être soigneusement équilibrés par rapport à tous les autres procédés de raffinage. Le raffineur doit produire un carburant ayant un indice d'octane acceptable, et ce, au coût le plus bas possible et sans laisser aucune fraction résiduelle.

Le moteur diesel

Au premier abord, un moteur diesel ressemble passablement au moteur à essence, à quelques pièces près. En effet, le moteur diesel ne possède ni bougies d'allumage, ni carburateur, et il n'est donc pas muni d'accessoires tels les câbles d'allumage, le distributeur et la bobine haute tension. À la différence du moteur à essence, le moteur diesel consomme un carburant auto-inflammable dont les propriétés sont très différentes de celles de l'essence.

Le concept du moteur diesel est très similaire à celui du moteur à essence. Les pistons, les cylindres et le vilebrequin fonctionnent de la même manière, et les cylindres sont munis de soupapes à leur extrémité supérieure. La bougie d'allumage est cependant remplacée dans le moteur diesel par un injecteur de carburant qui est en fait une pompe haute pression. Celle-ci injecte le carburant liquide dans le cylindre.

Le cycle de fonctionnement du moteur diesel est similaire dans ses grandes lignes à celui du moteur à essence, mais diffère sur quelques points importants. Tout comme dans le moteur à essence, le cycle débute par la course descendante du piston, mais la soupape d'admission n'aspire que de l'air au lieu du mélange air-carburant. Puisque il n'y a pas de mélange air-carburant à l'extérieur du moteur diesel, ce type de moteur n'a pas besoin de carburateur. Lorsque la compression débute, la soupape d'admission se ferme afin d'obturer le cylindre. Le piston atteint le haut du cylindre et la compression est presque maximale; le carburant diesel est alors injecté dans le cylindre, sous forme liquide et non sous forme de brouillard. Le carburant s'enflamme au contact de l'air fortement comprimé.

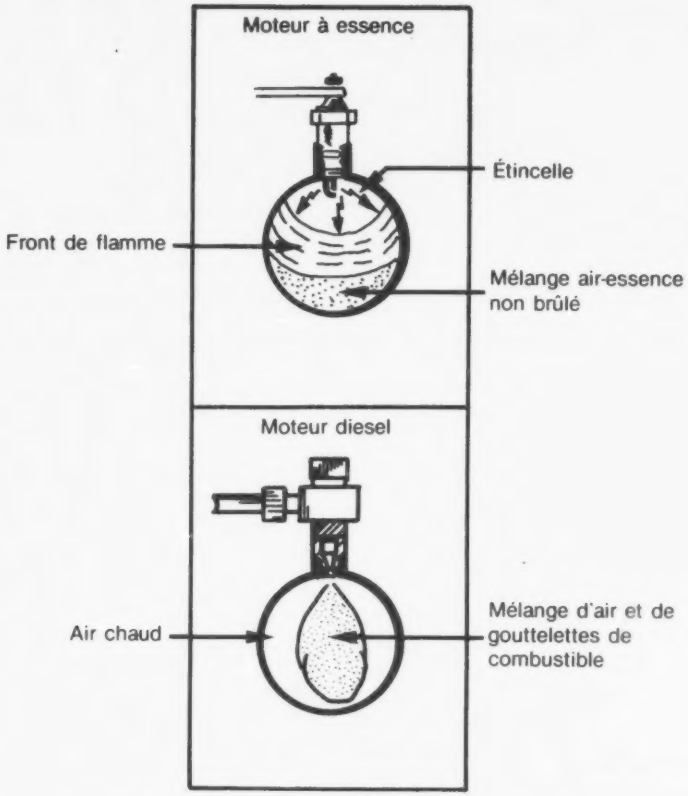
Mais pourquoi le carburant diesel s'enflamme-t-il spontanément? Le taux de compression d'un moteur diesel est beaucoup plus élevé que celui d'un moteur à essence (de deux à trois fois). Comprimer l'air, c'est le réchauffer. Dans le moteur diesel, l'air qui est rapidement comprimé atteint des températures suffisamment élevées pour enflammer le carburant injecté dans le cylindre.

La combustion du carburant provoque la dilatation des gaz, ce qui chasse le piston vers le bas, et cette impulsion est transmise aux roues par l'intermédiaire des bielles et du vilebrequin. Après la combustion, le piston remonte et expulse les gaz par la soupape d'échappement. Le cycle recommence de nouveau.

Mélange du carburant diesel

Comme le fonctionnement du moteur diesel le laisse supposer, le carburant diesel doit posséder des propriétés très différentes de celles de l'essence. Alors que cette dernière doit être antidétonante et résister à l'auto-allumage, le carburant diesel doit au contraire être sujet à l'auto-allumage. De plus, le carburant diesel est injecté directement dans le cylindre, sous forme de fines gouttelettes non vaporisées et sans être mélangé à l'air au préalable, à la différence de l'essence qui est mélangée à l'air avant son entrée dans le cylindre sous forme de brouillard.

Le carburant diesel est composé de fractions plus lourdes que l'essence. Ses caractéristiques principales sont la viscosité et l'indice de cétane; ce dernier indique avec quelle facilité le carburant s'enflamme lorsqu'il est injecté



Ce qui différencie principalement un moteur diesel et un moteur à essence, c'est le mode de combustion du carburant. Dans le moteur à essence, le mélange air-essence est aspiré dans le cylindre, comprimé (à un taux variant de 7:1 à 10:1) et enflammé par une étincelle. Dans le moteur diesel, seul l'air est aspiré dans le cylindre et il est comprimé à un taux beaucoup plus élevé (de 14:1 à 25:1), ce qui le réchauffe fortement. Le carburant est injecté seulement après la compression et il s'enflamme spontanément en raison de la température élevée qui règne à l'intérieur du cylindre.

dans le cylindre. Plus l'indice de cétane est élevé, plus le carburant s'enflamme aisément; en un sens, l'indice de cétane est l'inverse de l'indice d'octane. Quant à la viscosité, elle indique la facilité d'écoulement d'un carburant à une température donnée. C'est donc une mesure de la facilité avec laquelle le carburant diesel s'écoulera dans l'injecteur.

Si l'indice de cétane d'un carburant diesel est inadéquat, le moteur cognera beaucoup trop. Bien que ce cognement soit similaire à celui qui se produit dans un moteur à allumage brûlant de l'essence à trop faible indice d'octane, les causes en sont différentes dans le moteur diesel. Dans celui-ci, le carburant doit idéalement s'enflammer dès qu'il entre dans le cylindre. L'injection ne dure qu'une fraction de seconde, mais le front de carburant devrait s'enflammer avant la fin de l'injection. Si l'indice de cétane est trop faible, le carburant diesel ne s'enflamme pas sur-le-champ et il s'accumule dans le cylindre pendant un bref instant avant de s'enflammer. Lorsqu'il s'enflamme, le carburant relâche toute son énergie d'un seul coup, au lieu de la relâcher progressivement pendant la phase d'injection. Cette combustion très rapide mais

puissante exerce une pression excessive sur le piston, ce qui provoque le cognement. Également, les carburants à faible indice de cétane donnent des fumées d'échappement odorantes, et c'est l'une des raisons pour lesquelles les conducteurs urbains préfèrent rouler avec des carburants diesel de qualité dont la combustion est plus propre.

L'autre propriété importante du carburant diesel est sa viscosité. Si le carburant est trop « épais », son injection sera difficile, il donnera moins de puissance et produira plus de fumée. En hiver, par temps très froid, certains composants du carburant diesel se solidifient sous forme de substances paraffineuses qui peuvent obstruer les canalisations et les injecteurs. Le raffineur doit s'assurer que les carburants diesel qu'il produit conviennent aux conditions climatiques des régions où ils seront utilisés.

En règle générale, les hydrocarbures qui font une essence de qualité font un très mauvais carburant diesel. C'est pourquoi le raffineur utilise une fourchette différente de fractions pour fabriquer le carburant diesel. Le petit tableau ci-dessous indique les principales fractions qui entrent dans la composition du carburant diesel, ainsi que leur indice de cétane. Les carburants diesel ordinaires ont un indice de cétane qui varie de 40 à 45, alors que l'indice de cétane des carburants diesel de première qualité varie de 45 à 50.

Fraction	Indice de cétane typique
Gazole léger de distillation directe	45 - 50
Coupe pétrolière recyclée légère de craquage	26 - 35
Kérosène	45

Jusqu'à récemment, le mélange des carburants diesel a posé peu de problèmes aux raffineurs, car ils pouvaient produire aisément et en grande quantité les fractions nécessaires. Mais lorsque la qualité du pétrole brut s'est mise à décliner, la fabrication de carburant diesel s'est avérée plus difficile. Les pétroles bruts lourds et les pétroles synthétiques raffinés à l'aide des procédés existants donnent beaucoup moins de fractions à indice de cétane élevé. La production des carburants diesel de première qualité présente par conséquent un problème, lequel sera en partie réglé par les additifs améliorant l'indice de cétane et par la construction de raffineries capables de produire une plus grande quantité de fractions à indice de cétane élevé.

Rendement des moteurs à essence et des moteurs diesel

Le rendement de ces deux types de moteur diffère grandement. Les moteurs à essence sont habituellement plus légers et ils coûtent moins cher à fabriquer que les moteurs diesel, car ils fonctionnent à des pressions internes beaucoup moins élevées que ces derniers. De plus, les injecteurs des moteurs diesel sont des organes plus complexes et plus délicats que les carburateurs qui équipent la plupart des moteurs à essence.

Le poids et le coût moindres des moteurs à essence offrent des avantages indéniables pour les petits véhicules; c'est pourquoi ce type de moteur domine le marché des automobiles et des petits camions. Les moteurs à essence sont un choix logique pour les véhicules nécessitant une puissance élevée par rapport à leur poids total. Cependant, les moteurs diesel consomment moins de carburant, ce qui a favorisé leur installation dans les véhicules de service léger, quoique plusieurs inconvénients militent contre leur utilisation dans les petits véhicules : coût initial plus élevé, bruit, disponibilité du carburant diesel, etc.

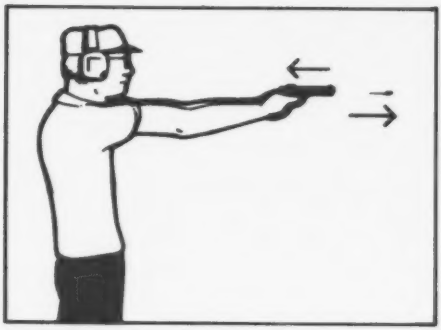
Les moteurs diesel sont en quelque sorte les chevaux de trait de l'industrie du transport. Ils fournissent la puissance requise pour déplacer les lourdes charges; à cet égard, ils sont plus fiables et plus efficaces que les moteurs à essence. Pour cette raison, le moteur diesel équipe la grande majorité des camions commerciaux neufs vendus au Canada.

Le moteur à réaction (turbine)

Le troisième type de moteur utilisé dans le transport au Canada est la turbine, ou moteur à réaction. Le carburéacteur (nom donné au carburant de moteur à réaction) est similaire au carburant diesel, sauf qu'il est fabriqué à l'aide des fractions les plus légères du carburant diesel, comme le kérosène. Cette composition du carburéacteur réduit la quantité de fumées produites par les avions à réaction et règle le problème crucial de la viscosité.

Le moteur à turbine fonctionne de façon fort différente du moteur à explosion. Avant d'examiner la mécanique des turbines, il convient

d'expliquer au préalable deux concepts fondamentaux. En premier lieu, un avion se déplace grâce à la poussée exercée par l'air et les gaz de combustion qui sont violemment expulsés par les moteurs. La figure ci-dessous illustre à l'aide d'un pistolet la notion de poussée.



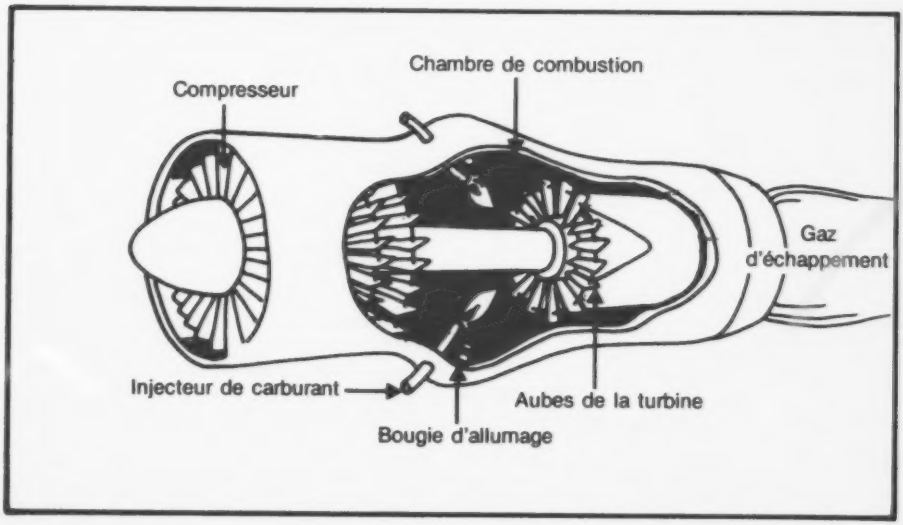
Lorsqu'on appuie sur la gâchette, une balle est expulsée du barillet. Le recul du pistolet est dû à la poussée créée par le départ de la balle. C'est là une manifestation de la troisième loi de Newton : à toute action (la balle qui se déplace vers l'avant) correspond une réaction égale et de sens opposé (le recul du pistolet contre la main). Les moteurs à réaction produisent une poussée en expulsant en un flot continu des quantités importantes d'air et de gaz de combustion.

En second lieu, la combustion d'un carburant crée des volumes de gaz importants. C'est ce qui déplace le piston dans un cylindre et ce qui produit les gaz de combustion dans un moteur à réaction.

Le fonctionnement d'un moteur à turbine est illustré dans la figure ci-contre. La turbine est logée à l'intérieur d'une enveloppe tubulaire, laquelle est la partie du moteur la plus visible sur la plupart des avions. À l'intérieur de l'enveloppe se trouvent deux jeux d'aubes. Les aubes de la turbine fonctionnent un peu comme des pales de ventilateur, mais à des vitesses beaucoup plus élevées. L'air est aspiré et comprimé fortement par le premier jeu d'aubes. Cet air comprimé est dirigé vers une série de chambres de combustion où le carburant est injecté. On utilise parfois une bougie d'allumage afin d'enflammer le carburant, mais comme la combustion est continue dans une turbine, elle se maintient d'elle-même une fois qu'elle est amorcée.

Une fois enflammé, le carburant brûle en dégageant un fort volume de gaz de combustion chauds qui se dilatent et accélèrent en passant à travers les aubes à l'arrière de la turbine. En sortant, les gaz font tourner ces aubes, qui entraînent à leur tour les aubes avant, car les deux jeux d'aubes sont fixés à un même arbre. Les gaz passent donc au travers des aubes arrière et s'échappent par la

Une turbine à réaction.



tuyère en produisant une poussée, laquelle fait avancer l'avion.

Les moteurs à réaction sont mis en marche par des petites unités auxiliaires, habituellement des petites turbines qui poussent les gaz à travers les aubes arrière du moteur principal. La force exercée par ces gaz amène la turbine principale à sa vitesse de fonctionnement. Le carburant est alors injecté dans la chambre de combustion et est enflammé par la bougie d'allumage. Une fois lancé, le moteur donne une poussée constante, à la différence des impulsions en à-coups produites par les moteurs à piston.

Les carburéacteurs

Comme il a été mentionné précédemment, le carburéacteur est très semblable au carburant diesel, si ce n'est qu'il contient une proportion plus élevée des fractions diesel les plus légères, comme le kérosène. Les moteurs à turbine peuvent toutefois utiliser une gamme plus étendue de carburants que les moteurs à pistons. Environ un tiers des carburéacteurs utilisés au Canada sont produits à partir de naphta, une fraction légère qui entre aussi dans la composition de l'essence. Le carburéacteur à base de naphta est appelé « Jet A », alors que le carburéacteur produit à partir de kérosène et d'autres fractions diesel est appelé « Jet B ».

La qualité des carburéacteurs est rigoureusement réglementée afin d'assurer le bon fonctionnement des moteurs. Le carburant doit brûler proprement, car des normes environnementales limitent la quantité de fumée qui peut être produite par la combustion d'un carburéacteur. Comme les aéronefs qui volent à très haute altitude sont soumis à des froids très vifs, même en été, le comportement des carburéacteurs par temps froid est crucial. Le carburant doit s'écouler librement, ne pas contenir d'eau (laquelle pourrait geler et obstruer les canalisations de carburant) et brûler proprement, même par température extrêmement froide. Les fractions lourdes ne conviennent pas à la fabrication des carburéacteurs, car elles contiennent des substances paraffineuses qui ont tendance à dégager des quantités excessives de fumée aux températures inférieures au point de congélation. Les conséquences du mauvais fonctionnement d'un moteur d'aéronef sont trop graves pour qu'on permette quelque compromis que ce soit à l'égard de la qualité des carburéacteurs.

LES CARBURANTS CLASSIQUES ET LES VÉHICULES DE DEMAIN

Un certain nombre de facteurs influeront sur l'avenir des carburants pétroliers, et autant sur la production et le raffinage du pétrole brut que sur l'utilisation des carburants pétroliers dans notre réseau de transport.

Comme il est indiqué au début de la présente publication, les véhicules consomment une part appréciable de tout le pétrole employé au Canada, et cette tendance continuera au cours du prochain siècle. Les véhicules terrestres (automobiles et camions) consomment 80 % de toute l'énergie utilisée aux fins de transport. Il n'y a pas si longtemps, la consommation d'énergie pour le transport augmentait à un rythme rapide, de l'ordre de 6 % dans les années 1960 et au début des années 1970. Après la crise du pétrole, ce taux a ralenti à 3 % entre 1973 et 1978. Depuis, la consommation d'énergie aux fins de transport a diminué d'environ 1 % par année.

Un certain nombre de facteurs expliquent ce déclin.

- Les mauvaises conditions économiques ont eu tendance à freiner les ventes d'automobiles neuves. Il y a donc moins d'automobiles en circulation que ne le laissaient entrevoir les prévisions. Aujourd'hui, les Canadiens roulent moins qu'au cours des années 1960 et au début des années 1970.

- Les petites automobiles à faible consommation de carburant composent la majeure partie du parc des automobiles neuves. En raison de cette tendance et du fait que le rendement général des automobiles s'est accru, le rendement énergétique moyen du parc automobile canadien a augmenté d'environ 4 % par année depuis 1978.

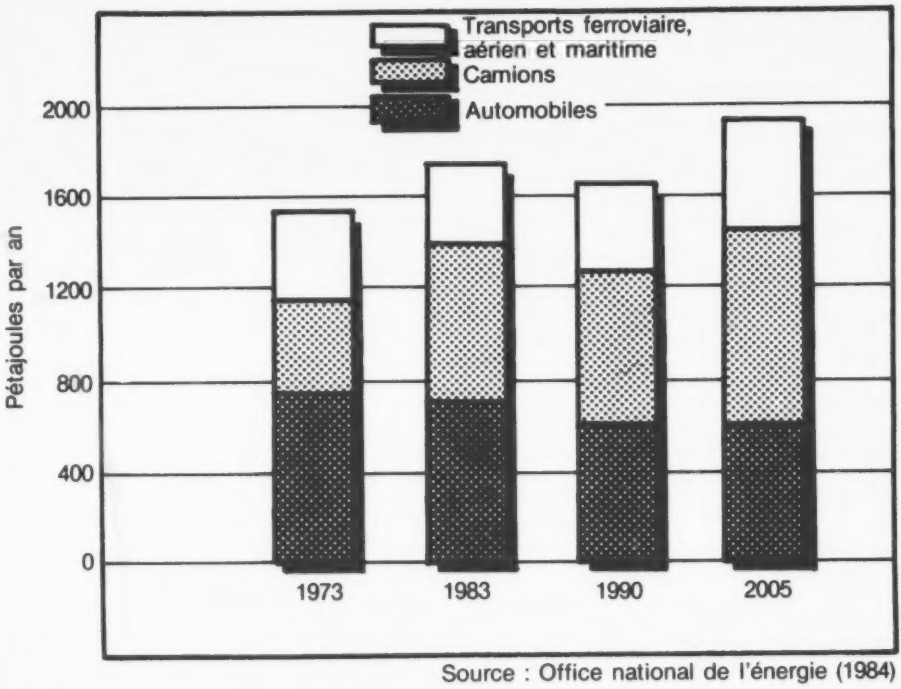
- Le parc de camions compte un nombre sans cesse croissant de véhicules mus par des moteurs diesel plus efficaces.

L'Office national de l'énergie prévoit que ces tendances se poursuivront au cours de la prochaine décennie. On prévoit aussi que les petites automobiles à haut rendement énergétique occuperont 70 % du marché. Il s'ensuit que le rendement énergétique moyen du parc automobile canadien continuera à augmenter d'environ 4 % par année jusqu'en 1990, et à un taux légèrement moindre par après. Les spécialistes estiment que les progrès de la technologie automobile augmenteront globalement le rendement des véhicules de 25 à 50 % par rapport au niveau actuel.

Si le rendement des véhicules continue à augmenter, il est fort probable que la quantité d'essence requise au Canada diminuera en termes absolus. Même si le nombre de véhicules achetés et utilisés par les Canadiens continue à croître, les gains en rendement devraient contrebalancer cette hausse. Le graphique ci-joint illustre les estimations actuelles de la demande totale d'énergie pour le transport d'ici 2005; on prévoit que la demande de carburant pour le parc automobile diminuera.

Par contre, l'utilisation du carburant diesel continuera à croître, en raison du rôle prédominant de ce carburant dans l'industrie du camionnage et de l'augmentation générale du nombre de camions. Cette croissance contrebalancera l'augmentation prévue de 2 % par année du rendement énergétique des camions, résultat d'une meilleure conception des véhicules et de l'emploi de meilleures techniques de conduite par les conducteurs.

Par ailleurs, il est peu probable que la demande de carburéacteur change de façon



Demande canadienne en énergie pour le transport. Un pétajoule est égal à la quantité d'énergie contenue dans environ 26 000 m³ de pétrole lourd léger ordinaire.

aussi marquée que les deux autres types de carburants. Bien que les prévisions laissent entrevoir une activité accrue des transporteurs aériens, cette augmentation sera en grande partie contrebalancée par une consommation moindre de carburant par les nouveaux avions.

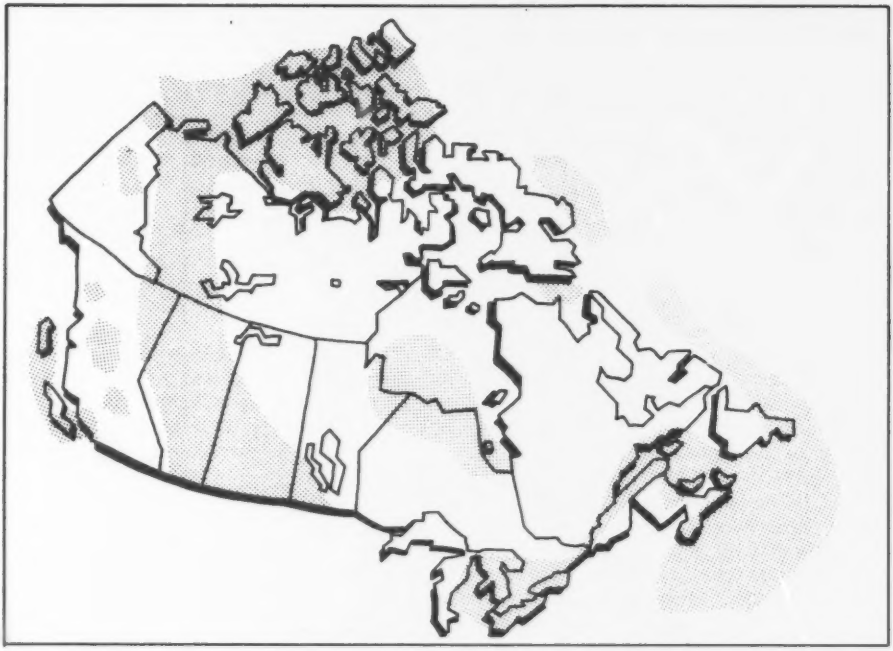
Pourquoi ces changements auront lieu

Dans les pages précédentes, les carburants classiques ont été décrits de façon générale, mais cette description n'explique pas pourquoi ces changements auront lieu. La section suivante décrit les divers changements qui toucheront l'industrie du transport, ainsi que la production et le raffinage du pétrole.

Production de pétrole brut

Les réserves canadiennes de pétrole brut léger diminuent. Nos raffineries ont été conçues et construites en fonction de ce pétrole de haute qualité qui donne de grandes quantités de carburant. La production canadienne de pétrole brut léger a commencé à diminuer vers le milieu des années 1970. Pour suppléer au manque à gagner, on utilise de plus en plus d'autres sources : pétrole lourd; pétrole extrait des vieux puits à l'aide des techniques de récupération assistée; et pétrole synthétique fabriqué à partir des sables bitumineux. La production de ces nouveaux pétroles coûte cher, et la plupart d'entre eux sont difficiles à raffiner.

D'ici la fin du siècle, on commencera à exploiter les nouvelles réserves qui se trouvent dans les régions pionnières du Canada : l'Arctique et les zones au large des côtes. Le pétrole brut qui proviendra de ces régions sera de haute qualité, ce qui facilitera la tâche des raffineurs; son coût sera toutefois élevé en raison des difficultés liées à la production pétrolière dans ces régions éloignées et isolées.



Le pétrole et le gaz naturel se trouvent dans des régions connues sous le nom de bassins sédimentaires. Nous avons déjà extrait la majeure partie du pétrole facilement exploitable dans les bassins à l'intérieur des terres. Les futurs approvisionnements en pétrole brut classique proviendront des bassins situés dans l'Arctique et au large des côtes.

Le Canada n'est pas le seul pays à faire face à une réduction de ses stocks de pétrole brut léger; il s'agit en fait d'un phénomène mondial. Le Canada importe principalement du pétrole brut léger, mais les problèmes de coût et de disponibilité rencontrés avec ces importations obligeront peut-être les raffineries à modifier leurs procédés afin de pouvoir traiter le pétrole lourd qui sera éventuellement importé.

Ces changements auront des incidences marquées sur la production et la disponibilité de pétrole brut, ainsi que sur l'industrie pétrolière et sur celle du raffinage. Aux premiers jours de l'industrie pétrolière en Amérique du Nord, ériger un puits revenait simplement à forer un trou peu profond dans le sol. De nos jours, les coûts de l'exploration et de mise en valeur sont très élevés. Dans les régions pionnières, une société peut engloutir des dizaines de millions de dollars dans un seul forage d'exploration sans garantie aucune de trouver du pétrole. Dans l'Ouest du pays, il en coûte des dizaines de milliards de dollars pour construire les usines capables de transformer les sables bitumineux en pétrole synthétique.

Le raffinage

Pour les raffineurs, le traitement du pétrole de moindre qualité et du pétrole synthétique occasionne des coûts supplémentaires et présente des défis techniques. Il faut modifier les procédés de raffinage afin de pouvoir traiter ces pétroles de façon satisfaisante. En outre, la production de quantités suffisantes de certains carburants, comme le carburant diesel, présente encore des difficultés. Au cours de la dernière décennie, les raffineurs ont apporté des modifications majeures à leurs installations afin de pouvoir utiliser chaque baril de pétrole jusqu'à la dernière goutte.

Au même moment, les raffineries doivent faire face à de nouvelles exigences concernant la qualité des carburants. En particulier, les règlements plus stricts sur les gaz d'échappement ont pour effet d'entraîner la modification des carburants. Comme les convertisseurs catalytiques servant à réduire les gaz d'échappement nécessitent l'emploi d'essence sans plomb, la demande est passée de l'essence avec plomb à de l'essence sans plomb. Des règlements de plus en plus stricts sur les gaz d'échappement ont accéléré cette tendance. Aussi, les concentrations de plomb autorisées dans l'essence ont été graduellement réduites au Canada et aux États-Unis. Par ailleurs, les règlements sur les gaz d'échappement des véhicules lourds ont une incidence sur les caractéristiques du carburant diesel.

La réduction de la teneur en plomb signifie que les raffineurs doivent produire davantage d'essence à indice d'octane élevé, grâce à des procédés plus sévères (d'où un rendement moindre), ou bien utiliser des agents d'amélioration de l'indice d'octane acceptables au point de vue environnemental. D'ailleurs, les hydrocarbures oxygénés tels les alcools et l'éther sont de plus en plus employés comme agents d'amélioration de l'indice d'octane. Leur emploi dans l'essence nécessite toutefois la modification des raffineries et des moteurs.

Le raffinage du pétrole brut et la qualité des carburants continueront à dépendre de plusieurs facteurs : progrès de la technologie des moteurs, croissance de la demande de carburant diesel, efforts visant à réduire l'énergie consommée par les divers procédés de raffinage.

Technologie des moteurs et des véhicules

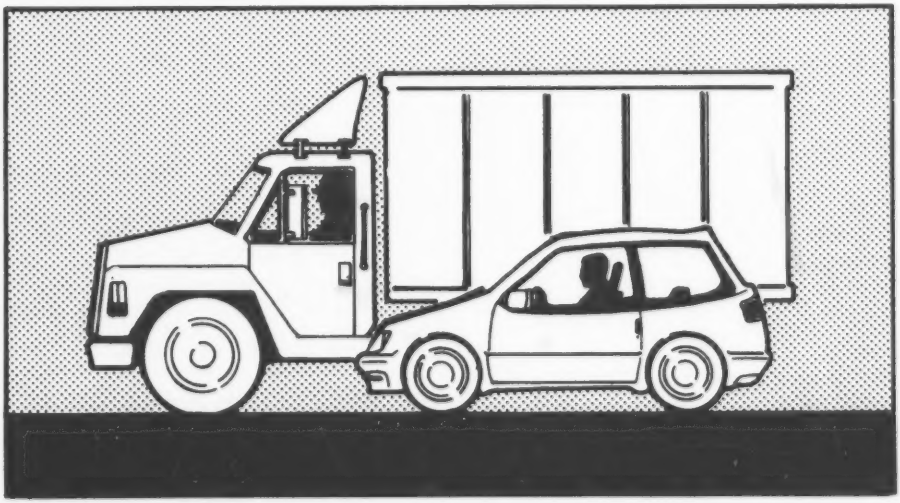
Comme nous l'avons déjà indiqué, le rendement énergétique des véhicules, en particulier les automobiles et les camions, a augmenté sensiblement au cours de la dernière décennie. Les constructeurs poursuivent leurs recherches afin d'atteindre des niveaux de rendement énergétique plus élevés. Cette amélioration est possible grâce à un certain nombre de progrès techniques.

Véhicules à essence

Même si de plus en plus d'automobiles roulent aux carburants diesel et autres, l'essence demeure le carburant prédominant pour ce type de véhicule. Un certain nombre de modifications, certaines évidentes et d'autres moins, ont rendu possible l'amélioration du rendement énergétique des automobiles.

- Grâce à une meilleure conception, les fabricants ont pu réduire la taille des

En conduisant des automobiles et des camions plus économes en carburant, les Canadiens contribuent à prolonger la durée des réserves de pétrole classique.



voitures sans pour autant sacrifier leur habitabilité. Ils construisent des automobiles plus petites, de profil plus aérodynamique et beaucoup plus légères qui peuvent donc être équipées de moteurs plus petits et plus efficaces. L'augmentation du rendement énergétique est dû en grande partie à ce facteur.

- Le rapport (puissance du moteur)/(poids du véhicule) a été modifié. Les nouveaux petits moteurs sont capables de fournir toute la puissance requise, grâce à une meilleure conception et à certaines innovations, comme le turbocompresseur (il s'agit d'une turbine entraînée par les gaz d'échappement et qui pousse davantage d'air de combustion dans les cylindres du moteur, augmentant ainsi sa puissance maximale). Également, les moteurs modernes sont plus efficaces. Le véhicule dépense moins d'énergie pour vaincre les pertes d'origine mécanique dans le moteur et les organes de transmission (boîte de vitesses, différentiel, arbre de transmission et roues). L'emploi de la traction avant a permis d'améliorer le rendement des véhicules et d'en réduire le poids.
- Les nouvelles transmissions permettent aux moteurs de fonctionner plus efficacement. Par exemple, l'adjonction d'engrenages surmultiplicateurs permet au moteur de mieux livrer sa puissance aux roues.
- L'utilisation accrue de l'électronique pour la commande des moteurs se traduit par une carburation (ou une injection) et un allumage plus précis.
- Les pneus radiaux ont une efficacité énergétique supérieure à celle des pneus classiques à carcasse diagonale et font maintenant partie de l'équipement standard de la plupart des automobiles.

Ces modifications dans la conception des automobiles ont permis des gains appréciables au chapitre du rendement énergétique, et il est possible d'accroître encore ce rendement. Un certain nombre d'innovations font présentement l'objet de travaux et les automobiles commencent à en être dotées, ce qui accroît davantage leur rendement et les économies de carburant.

- Les consommateurs veulent des moteurs hautement performants; les fabricants équipent donc leurs voitures d'injecteurs et de turbocompresseurs, ce qui accroît la puissance des moteurs sans trop taxer leur rendement. Aujourd'hui, des moteurs deux fois plus petits que les moteurs « costands » d'il y a quelques années ont un rendement impressionnant.
- On perfectionne les chambres de combustion afin d'augmenter la puissance totale des petits moteurs; ainsi, on peut réduire encore plus leur taille, d'où des économies de poids et de carburant.
- Les nouvelles transmissions, telle la transmission automatique à rapport variable, amélioreront l'efficacité énergétique. Dans ce système, le jeu d'engrenages de la transmission (p. ex., première, deuxième et troisième) est remplacé par un seul engrenage d'entraînement à rapport variable. Le moteur peut ainsi rouler à son régime optimal à toutes les vitesses.

Véhicules diesel

La hausse des coûts de l'énergie, amorcée par la crise pétrolière des années 1970, a eu des effets profonds sur l'industrie du camionnage, le principal utilisateur des moteurs et du carburant diesel. Les fabricants de camions n'ont pas ménagé leurs efforts afin d'accroître le rendement des camions courte et longue distance, et les résultats ont été substantiels.

- La résistance aérodynamique des gros camions a été réduite grâce à l'emploi de carénages et de déflecteurs montés sur l'habitacle du camion ou sur la paroi avant de la boîte. En outre, des pare-air placés sous le moteur réduisent les pertes d'énergie attribuables à la turbulence.
- Avec les moteurs diesel modernes à couple élevé, les camionneurs peuvent rouler au régime optimal pour une efficacité maximale du moteur. Ces moteurs sont équipés de transmissions qui autorisent des changements de rapport fréquents et progressifs afin de pouvoir rouler au régime optimal.
- De nombreux accessoires qui fonctionnaient sans arrêt dès que le moteur était mis en marche, tels les ventilateurs, sont maintenant munis de régulateurs qui les arrêtent automatiquement lorsque leur utilisation n'est pas nécessaire.

- Les pneus de camions ont été améliorés (p. ex., les pneus radiaux) et ils permettent de réaliser des économies d'énergie appréciables.

Le conducteur est en grande partie responsable de la bonne utilisation énergétique de son véhicule. Bien que les améliorations techniques mentionnées ci-dessus permettent des économies d'énergie substantielles, c'est en définitive le conducteur qui est en mesure de les réaliser. C'est pourquoi de nombreuses entreprises de camionnage, conscientes du coût élevé du carburant diesel, assurent la formation de leurs conducteurs et les encouragent à utiliser des techniques de conduite économes en énergie.

Le rendement énergétique des camions augmentera encore plus grâce à d'autres perfectionnements aérodynamiques comme les prises d'air latérales pour le refroidissement des moteurs et les déflecteurs latéraux.

Sommaire

Ce livret décrit les grandes lignes de l'industrie canadienne des carburants. Comme vous l'avez constaté, la production des carburants est un ensemble de procédés complexes et délicats qui font l'objet d'améliorations incessantes. Les carburants tirés du pétrole brut classique ne forment qu'une partie du tableau; déjà, le pétrole synthétique tiré des sables bitumineux canadiens et les pétroles lourds répondent à une part appréciable de nos besoins en carburant. Les carburants gazeux comme le propane et le gaz naturel propulsent un nombre croissant de véhicules. Les carburants alcoolisés, produits à partir du gaz naturel et de ressources renouvelables, commencent eux aussi à influencer notre utilisation des carburants. L'industrie des carburants, l'industrie automobile et les gouvernements font face à un défi de taille : faire en sorte que les carburants et les véhicules de demain continuent à assurer aux Canadiens le réseau de transport fiable et efficace dont dépend leur bien-être.

GLOSSAIRE

Alcool

L'une des grandes séries de composés organique; certains existent à l'état naturel, mais la plupart sont synthétiques. Les alcools sont formés par le remplacement, dans une molécule d'hydrocarbure, d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène par un groupement hydroxyle.

Alkylat

Produit du procédé de raffinage connu sous le nom d'alkylation; ce produit, à indice d'octane élevé, est un composant utile de l'essence.

Alkylation

Procédé par lequel on combine de l'isobutane à un agent dit d'alkylation (habituellement une oléfine, comme le propylène) à l'aide d'un catalyseur acide, afin de produire des charges d'alimentation lourdes en vue de leur fractionnement. C'est l'inverse du craquage.

Allumage spontané

Voir Auto-allumage.

Anticognement

Résistance d'un carburant au cognement (voir ce terme).

Anticlinal

Plissement couvexe de strates rocheuses sous la surface de la terre; le pétrole brut et le gaz naturel s'y trouvent piégés sous une couche de roche imperméable, ce qui crée une sorte de réservoir.

Appareil de distillation

Appareil utilisé pour la distillation et comprenant soit l'enceinte de vaporisation, soit tout le matériel.

Auto-allumage

Phénomène qui se produit lorsqu'un moteur à allumage par étincelle continue à tourner une fois le contact coupé. Ce phénomène est dû à des dépôts de carbone incandescents ou à d'autres dépôts similaires, ou encore à l'allumage spontané et intempestif du carburant dans le moteur.

Bassin sédimentaire

Ancienne dépression de fond marin dans laquelle des sédiments se sont déposés. Un tel bassin est épais au centre et plus mince vers ses bords.

Bielle

Dans un moteur à piston, tige qui relie le piston au vilebrequin.

Bitume

Mélange visqueux d'hydrocarbures qui existe à l'état naturel, mais n'est pas économiquement récupérable par les méthodes classiques. Désigne aussi les résidus d'hydrocarbures produits par le raffinage de certains pétroles bruts.

Bougie d'allumage

Organe logé dans les cylindres d'un moteur à piston et muni d'une paire d'électrodes produisant une étincelle qui enflamme le carburant.

Butane

Hydrocarbure gazeux, volatil et hautement inflammable, de formule C_4H_{10}, extrait du gaz naturel ou produit par craquage du pétrole. Utilisé comme agent de mélange afin d'accroître la pression de vapeur de l'essence et de faciliter le démarrage à froid. Existe sous deux formes moléculaires différentes, ou isomères : le butane normal (n-butane) dont les quatre atomes de carbone sont disposés en chaîne droite, et l'isobutane dont les quatre atomes de carbone forment une chaîne ramifiée. Le pouvoir calorifique du n-butane est plus élevé.

Carburant diesel

Mazout de haute qualité utilisé dans les moteurs à allumage par compression. Il en existe différentes qualités : l'ordinaire a un indice de cétane de 40 à 45, et le super a un indice de cétane de 45 à 50.

Carburants classiques	Expression qui désigne les carburants liquides obtenus par raffinage du pétrole brut.
Carburants synthétiques	Carburants liquides ou gazeux, similaires à ceux qui sont du pétrole brut léger mais fabriqués à partir d'autres substances : bitume, pétrole lourd, gaz naturel, charbon ou biomasse.
Carburateur	Organe d'un moteur de véhicule qui prépare et fournit automatiquement aux cylindres le mélange approprié de combustible vaporisé et d'air afin d'assurer une combustion efficace du mélange.
Carburéacteur	Carburant liquide volatil convenant aux moteurs d'aéronefs. Il en existe différentes qualités.
Catalyseur	Substance qui, sans subir de modification chimique, facilite une réaction chimique et permet à celle-ci d'avoir lieu même dans des conditions défavorables (par exemple, à température ou à pression plus faible qu'à l'ordinaire).
Cétane	Hydrocarbure liquide, de formule $C_{16}H_{34}$, employé comme carburant étalon pour les moteurs diesel en raison de ses excellents propriétés de combustibilité.
Cognement	Dans un moteur à allumage par étincelle, bruit ou cliquetis qui se produit lorsque le mélange air-essence s'allume spontanément avant que la bougie n'ait livré son étincelle. Un tel auto-allumage peut endommager le moteur. On l'élimine en utilisant un carburant à indice d'octane plus élevé.
Coke	Résidu solide du charbon ou du pétrole brut après élimination des hydrocarbures volatils par distillation ou craquage. Peut être employé comme charges d'alimentation pour la fabrication du gaz de synthèse.
Colonne de distillation	Tour servant à séparer par le pétrole brut en distillation ses diverses fractions.
Colonne de fractionnement	Tour verticale servant à séparer des gaz ou des liquides en fractions selon leurs points d'ébullition.
Condensat	Mélange de pentanes ou d'hydrocarbures plus lourds retiré des puits de pétrole ou de gaz; ils sont gazeux à la production mais se liquéfient en refroidissant à la surface.
Coupe lourde	Fraction pétrolière à point d'ébullition élevé.
Coupe pétrolière	Pétrole résiduel laissé dans une colonne de fractionnement après qu'on en ait retiré les fractions utiles.
Craquage	Procédé de raffinage qui consiste à briser les grosses molécules d'hydrocarbures en molécules plus légères et plus simples (essence brute, kérosène et gazoles). Englobe le craquage thermique, le craquage catalytique et l'hydrocraquage.
Craquage catalytique	Procédé de raffinage qui consiste à convertir des gazoles lourds de première distillation en fractions plus légères, sous pression et à l'aide d'un catalyseur.
Craqueur catalytique	Appareillage servant au craquage catalytique.
Cylindre	Dans un moteur, espace cylindrique dans lequel sont logés un piston, une bielle et des segments d'étanchéité, ainsi que des soupapes permettant l'admission du mélange combustible et l'échappement des gaz de combustion.

Distillation	Procédé qui consiste à chauffer un liquide jusqu'à son point d'ébullition et à recueillir et condenser la vapeur ainsi produite (voir Distillation fractionnée).
Distillation fractionnée	Procédé qui permet de séparer un mélange de liquides de volatilité différente, comme le pétrole brut, en ses divers composants. À cette fin, on chauffe le mélange et l'on condense chaque fraction vaporisée qui est recueillie.
Essence	Mélange raffiné d'hydrocarbures liquides et volatils tirés du pétrole, et dont l'indice d'octane est compris entre 60 et 100; utilisé comme carburant dans les moteurs à allumage par étincelle.
Essence au plomb	Essence contenant une petite quantité de plomb tétraéthyle ou de plomb tétraméthyle afin d'augmenter l'indice d'octane et ainsi améliorer les propriétés antidétonantes du carburant.
Essence ordinaire	Désigne les essences contenant des composés de plomb afin d'améliorer l'indice d'octane. Ces essences ont un indice d'octane moins élevé que celui des essences super (voir Essence au plomb).
Essence sans plomb	Essence contenant suffisamment d'hydrocarbures à indice d'octane élevé de façon à ne pas nécessiter l'adjonction d'additifs au plomb.
Essence super	Essence à indice d'octane élevé.
Force de rotation	Force produite par le movement rapide d'un corps autour d'un axe.
Fraction	Produit de raffinage ou de distillation contenant tous les composés dont le point d'ébullition est compris entre deux températures ou points de coupe choisis arbitrairement. Le naphta, le kérosène et les mazouts sont des fractions.
Fractionnateur	*Voir* Colonne de fractionnement.
Fractionnement	*Voir* Distillation fractionnée.
Fractions légères	Hydrocarbures gazeux indésirables produits lors du raffinage. Ils peuvent être combinés en fractions plus lourdes en vue du mélange de l'essence.
Gaz de pétrole liquéfié	Groupe d'hydrocarbures gazeux, principalement du butane et du propane, produit lors de l'extraction du pétrole brut et du gaz naturel; c'est aussi un sous-produit du raffinage. Ces gaz sont comprimés sous forme liquide afin d'en faciliter le stockage, le transport ainsi que l'emploi comme combustibles.
Gaz naturel	Mélange inflammable d'hydrocarbures gazeux, principalement du méthane. Existe à l'état naturel et est habituellement associé au pétrole brut.
Gazole	Fraction lourde de raffinage (point d'ébullition : entre 232°C et 426°C) utilisée dans l'industrie et comme carburant dans les moteurs diesel.
Géophone	Instrument qui détecte les vibrations dans le sol; utilisé dans l'exploration du pétrole et du gaz.
GPL	*Voir* Gaz de pétrole liquéfié.
Groupement hydroxyle	Partie de molécule composée d'un atome d'oxygène lié à un atome d'hydrogène. C'est un composant caractéristique des alcools.

Hydrocarbure

Terme désignant une vaste famille de composés chimiques contenant uniquement des atomes de carbone et d'hydrogène et qui sont à la base de tous les produits pétroliers. Les hydrocarbures qui ont peu d'atomes de carbone sont gazeux et ceux qui en ont en grand nombre sont solides.

Hydrocraquage

Procédé de raffinage qui sépare les hydrocarbures lourds en fractions plus légères et qui consiste à ajouter de l'hydrogène sous haute pression en présence d'un catalyseur acide.

Hydrogène

Le plus simple et le plus léger des éléments. Dans sa forme moléculaire, c'est un gaz incolore, inodore et sans goût, mais on ne le retrouve pas sous cette forme dans la nature.

Indice de cétane

Mesure du degré de combustibilité d'un carburant diesel par rapport à un mélange de n-cétane (indice de cétane = 100) et d'alphaméthylnaphtalène (indice de cétane = 0), évaluée dans un moteur étalon. Plus l'indice de cétane est élevé, plus le carburant s'enflamme rapidement. Les moteurs diesel modernes ont besoin d'un carburant dont l'indice de cétane est d'au moins 40.

Injecteur

Pompe haute pression qui injecte le carburant liquide directement dans le cylindre du moteur.

Indice d'octane

Valeur arbitraire qui indique les propriétés antidétonantes d'une essence. Indique dans quelle mesure un carburant résiste à l'allumage précoce. À de l'isooctane (indice d'octane = 100), on ajoute du n-heptane (indice d'octane = 0) afin d'obtenir un mélange ayant les mêmes propriétés antidétonantes que l'essence testée. La proportion d'isooctane dans le mélange donne l'indice d'octane de l'essence. Les essences disponibles sur le marché ont habituellement un indice d'octane compris dans la fourchette de 92 à 100.

Isobutane

Voir Butane.

Isooctane

Hydrocarbure liquide, inflammable et incolore, de formule C_8H_{18}. Utilisé pour déterminer les caractéristiques d'allumage des différents mélanges d'essence. Dans l'isooctane, la disposition des atomes de carbone et d'hydrogène diffère légèrement de celle de l'octane.

Jet A

Carburéacteur contenant du kérosène et d'autres fractions moyennes (point d'ébullition : 150°C à 290°C).

Jet B

Carburéacteur contenant principalement du naphta (point d'ébullition : 30°C à 280°C).

Mazout domestique

Terme collectif qui désigne un groupe de gazoles de distillation utilisé pour le chauffage des édifices.

Mélange air-carburant

Mélange combustible livré au moteur et qui, en brûlant, produit des gaz dont la dilatation fait fonctionner le moteur.

Méthane

Gaz inflammable, incolore et inodore, de formule CH_4, ce qui en fait le plus simple des hydrocarbures. C'est le principal composant du gaz naturel.

Monoxyde de carbone

Gaz toxique, inodore et incolore composé en parties égales de carbone et d'oxygène. Résultat de la combustion partielle (oxydation) des carburants, c'est un polluant dégagé en quantité par les automobiles. Constitue également un composant du gaz synthétique.

Moteur à allumage par étincelle	Moteur à piston dans lequel l'étincelle servant à l'allumage du carburant est fournie par une bougie logée dans chaque cylindre. Les moteurs à essence sont de ce type.
Moteur à piston	Type de moteur caractérisé par le mouvement alternatif de pistons logés dans des cylindres. La plupart des automobiles sont équipées d'un moteur à piston.
Moteur à turbine	Type de moteur qui convertit l'énergie cinétique d'un fluide en déplacement en énergie mécanique grâce à la rotation d'un jeu d'aubes.
Naphta	Fraction pétrolière dont le point d'ébullition se situe entre 70°C et 200°C. Son indice d'octane est trop faible pour qu'il puisse être employé directement comme essence.
Octane	Hydrocarbure inflammable tiré du pétrole, de formule C_8H_{18}. Existe sous de nombreuses formes moléculaires ou isomériques (voir Isooctane).
Oléfine	Un des groupes d'hydrocarbures synthétiques caractérisés, au point de vue chimique, par une liaison double entre deux atomes d'hydrogène, ce qui les rend très réactifs et donc très utiles dans l'industrie. L'éthylène et le propylène sont des oléfines.
Pentane	Hydrocarbure liquide, incolore et inflammable, de formule C_5H_{12}, tiré du pétrole et présent dans l'essence.
Pétrole brut	Pétrole à l'état naturel qui peut être extrait de façon économique au moyen d'un puits. Il s'agit d'un mélange de nombreux hydrocarbures différents et d'impuretés; la composition du pétrole brut varie selon le lieu de production.
Pétrole brut synthétique	Pétrole produit par le traitement du pétrole lourd et du bitume.
Pétrole lourd	Pétrole extrait de gisements dont la consistance se situe à mi-chemin entre celles des sables bitumineux et du pétrole classique. Dans des conditions normales, le pétrole lourd s'écoule très lentement ou ne s'écoule pas du tout.
Pétrole synthétique	*Voir* Pétrole brut synthétique.
Piston	Organe du moteur qui coulisse dans le cylindre sous l'effet de l'explosion du carburant.
Point de coupe	Température particulière à laquelle une fraction, ou coupe, est retirée lors du raffinage.
Point d'ébullition	Température à laquelle une substance passe de l'état liquide à l'état gazeux, et vice versa, à une pression donnée.
Pompe sauterelle	Pompe munie d'un balancier de type « sauterelle », d'abord utilisé sur les moteurs à vapeur du XIX^e^ siècle et maintenant dans la production de pétrole classique.
Poussée	Force propulsive dans une direction donnée produite par l'expulsion en sens inverse d'air et de gaz de combustion.
Propane	Hydrocarbure gazeux lourd, volatil et incolore, de formule C_3H_8, facilement liquéfiable à température ambiante. C'est le principal composant du gaz de pétrole liquéfié. Peut être extrait du gaz naturel et peut aussi être produit lors du raffinage.

Prospection par sismique réflexion	Emploi d'explosions contrôlées afin de rechercher des gisements de pétrole et de gaz. Les variations des ondes de choc réfléchies par les formations géologiques permettent de dresser une « image » du gisement.
Puits complété	Puits dont a retiré le matériel de forage et qui est en phase productive.
Raffinage	Ensemble de procédés visant à séparer le pétrole brut en ses divers constituants chimiques, lesquels sont par la suite transformés en produits utilisables.
Récupération assistée de pétrole (RAP)	Procédé permettant d'extraire du pétrole d'un champ épuisé par amélioration artificielle du débit.
Récupération par injection de vapeur	Technique de récupération in situ qui consiste à injecter de la vapeur sous haute pression afin d'extraire le pétrole lourd et le bitume contenu dans les sables pétrolifères; l'injection peut être cyclique (à l'aide d'un seul puits) ou continue (à l'aide de puits d'injection et de production séparés).
Reformage catalytique	Amélioration du naphta de distillation directe par réarrangement chimique des molécules, à l'aide d'un catalyseur, afin de produire des hydrocarbures à indice d'octane plus élevé. Ce procédé comporte de nombreuses réactions simultanées, dont le craquage et la déshydrogénation.
Reformat	Substance utile à indice d'octane élevé produite lors du reformage catalytique et qui peut être mélangée à l'essence afin d'en accroître l'indice d'octane.
Régénération	Traitement chimique d'un catalyseur épuisé qui enlève les dépôts de carbone adhérant à sa surface. Une fois régénéré, le catalyseur peut de nouveau être utilisé.
Réserves	Partie d'une ressource identifiée, dont on connaît la quantité et la qualité et dont on peut extraire de l'énergie à l'aide des techniques courantes.
Réserves de pétrole classique	Pétrole brut et condensats qui peuvent être récupérés d'une roche-réservoir souterraine à l'aide des techniques classique de production.
Sables bitumineux	Dépôts sédimentaires de sable grossier imprégné de pétrole lourd, d'aspect bitumineux, trop visqueux pour être extrait par les puits classiques.
Tension de vapeur	Pression nécessaire pour qu'un liquide confiné dans un espace clos ne se vaporise pas.
Trou de sonde (aussi appelé sondage)	Trou creusé dans le sol à l'aide d'un outil de forage dans le but de rechercher des hydrocarbures ou de relâcher les accumulations de gaz.
Vilebrequin	Arbre principal d'un moteur à piston qui, par l'intermédiaire des bielles, transforme le mouvement alternatif des pistons en mouvement rotatif.
Viscosité	Mesure de la résistance d'un liquide à l'écoulement à une température donnée.
Volant	Disque lourd qui absorbe et emmagasine l'énergie grâce à son inertie. Le volant égalise également les fluctuations résultant des cycles irréguliers du moteur.
Volatil(e)	Qui se vaporise facilement à température relativement faible.